

**EVALUIERUNG VON ANSCHLUSSDEGENERATIONEN ZERVIKALER
BANDSCHEIBENPROTHESENIMPLANTATION IM VERGLEICH ZUR VENTRALEN
PLATTEN-SCHRAUBEN-SPONDYLODESE**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Tina Jarmuzek
geboren am 01.03.1989 in Dessau-Roßlau

Gutachter

1. Univ.-Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Gunther O. Hofmann, Universität Jena
2. Univ.-Prof. Dr. med. Rolf Kalff, Universität Jena
3. Prof. Dr. med. Christoph Josten, Universität Leipzig

Tag der öffentlichen Verteidigung: 04.04.2017

Widmung

***Meiner Familie
in Liebe und Dankbarkeit***

Abkürzungsverzeichnis und Symbole

| | |
|---------|---|
| A. | Arteria |
| Abb. | Abbildung |
| ALL | anteriores Ligamentum longitudinale |
| ant. | anterior |
| a.p. | anterior posterior |
| Art. | Articulatio |
| BG | Berufsgenossenschaft |
| bsp. | beispielsweise |
| BWS | Brustwirbelsäule |
| bzw. | beziehungsweise |
| C | Wirbelsegmentbezeichnung an der Halswirbelsäule |
| ca. | circa |
| cm | Zentimeter |
| et. al. | und andere |
| ggf. | gegebenenfalls |
| HWS | Halswirbelsäule |
| inf. | inferior |
| Lig. | Ligamentum |
| Ligg. | Ligamenti |
| LWS | Lendenwirbelsäule |
| M. | Musculus |
| Mm. | Musculi |
| mm | Millimeter |
| MPa | Mega Pascal |
| MRT | Magnetresonanztomographie |
| N. | Nervus |
| n | Anzahl |
| NDI | Neck Disability Index |
| NRS | numerische Rating-Skala |
| NSAR | nichtsteroidale Antirheumatika |
| OPS | Operationen- und Prozedereschlüssel |
| p | Irrtumswahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau) |

| | |
|---------|--|
| PACS | Picture Archiving and Communication System |
| post. | posterior |
| postop. | postoperativ |
| präop. | präoperativ |
| Proc. | Processus |
| Procc. | Processi |
| PRT | periradikuläre Therapie |
| R. | Ramus |
| ROM | Range of Motion |
| Rr. | Rami |
| s. | siehe |
| SF-36 | Short Form Gesundheitsfragebogen mit 36 Fragen |
| Tab. | Tabelle |
| TENS | transkutane elektrische Nervenstimulation |
| Th | Wirbelsegmentbezeichnung an der Brustwirbelsäule |
| u.a. | unter anderem |
| VAS | visuelle Analogskala zur Validierung des Schmerzempfindens |
| vgl. | vergleiche |
| z.B. | zum Beispiel |
| Z.n. | Zustand nach |
| ZWR | Zwischenwirbelraum |
| ° | Grad |
| % | Prozent |
| * | signifikant |
| = | ist gleich |
| ® | Copyright |
| < | weniger als |
| > | mehr als |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Abkürzungsverzeichnis und Symbole..... | II |
| 1. Zusammenfassung..... | 1 |
| 2. Einleitung..... | 3 |
| 2.1. Anatomie der Halswirbelsäule..... | 3 |
| 2.2. Biomechanik und Funktionsprüfung der Halswirbelsäule..... | 5 |
| 2.3. Traumatische Veränderungen an der Halswirbelsäule..... | 5 |
| 2.4. Degenerative Veränderungen an der Halswirbelsäule..... | 6 |
| 2.4.1. Lokales Zervikalsyndrom..... | 7 |
| 2.4.2. Zervikobrachiales Syndrom..... | 7 |
| 2.4.3. Zervikozephales Syndrom..... | 10 |
| 2.4.4. Zervikale Myelopathie..... | 10 |
| 2.4.5. Anschlussdegenerationen..... | 11 |
| 2.5. Konservative Therapie..... | 14 |
| 2.6. Operative Therapie..... | 16 |
| 2.6.1. Historische Entwicklung der operativen Verfahren..... | 16 |
| 2.6.2. Indikationen und Kontraindikationen..... | 18 |
| 2.6.3. Operativer Zugangsweg..... | 19 |
| 2.6.4. Anteriore zervikale Nukleotomie..... | 20 |
| 2.6.5. Ventrale Platten-Schrauben-Spondylodese..... | 21 |
| 2.6.6. Zervikale Bandscheibenprothese..... | 21 |

| | |
|---|-----------|
| 3. Ziele der Arbeit..... | 24 |
| 3.1. Fragestellung und Ziele..... | 24 |
| 3.2. Hypothesen..... | 24 |
| 4. Material und Methoden..... | 26 |
| 4.1. Patientenanzahl und –auswahl..... | 26 |
| 4.2. Untersuchungen..... | 28 |
| 4.2.1. Radiologische Patientenuntersuchungen..... | 28 |
| 4.2.2. Klinische Patientenangaben..... | 31 |
| 4.3. Datenverarbeitung und statistische Auswertung..... | 32 |
| 5. Ergebnisse..... | 34 |
| 5.1. Anzahl der Patienten..... | 34 |
| 5.2. Geschlechterverteilung..... | 35 |
| 5.3. Alter zum Operationszeitpunkt..... | 35 |
| 5.4. Übersicht über die operativ versorgten Segmente..... | 36 |
| 5.5. Radiologische Ergebnisse..... | 37 |
| 5.5.1. Osteophytenwachstum..... | 37 |
| 5.5.2. Höhenminderung der Zwischenwirbelräume..... | 43 |
| 5.5.3. Verkalkung des Lig. longitudinale anterior..... | 46 |
| 5.5.4. Bandscheibendegeneration anhand des McAfee Scores..... | 48 |
| 5.6. Klinische Ergebnisse..... | 52 |
| 5.6.1. Schmerzempfinden anhand der NRS..... | 52 |
| 5.6.2. Zervikobrachialgien..... | 53 |

| | |
|--|-----------|
| 5.6.3. Sensibilitätsstörungen..... | 54 |
| 5.7. Ergebnisse zum Vergleich zwischen traumatischer und degenerativer Genese bei Patienten mit ventraler Platten-Schrauben-Spondylodese..... | 55 |
| 6. Diskussion..... | 57 |
| 6.1. Ergebnisse der Anschlussdegeneration bei Patienten mit ventraler Spondylodese aufgrund von traumatischer oder degenerativer Genese..... | 59 |
| 6.2. Studienergebnisse der einzelnen Gruppen – 5 Jahre postoperativ..... | 60 |
| 6.2.1. Monosegmentale ventrale Spondylodese..... | 60 |
| 6.2.2. Bisegmentale ventrale Spondylodese..... | 61 |
| 6.2.3. Monosegmentale zervikale Bandscheibenprothese..... | 63 |
| 6.2.4. Bisegmentale zervikale Bandscheibenprothese..... | 65 |
| 6.3. Ergebnisse der radiologischen und klinischen Outcomes..... | 67 |
| 6.3.1. Osteophytenwachstum..... | 67 |
| 6.3.2. Höhenminderung des Zwischenwirbelraums..... | 69 |
| 6.3.3. Verkalkung des Lig. longitudinale anterius..... | 71 |
| 6.3.4. Bandscheibendegeneration anhand des McAfee Scores..... | 71 |
| 6.3.5. Klinische Ergebnisse..... | 74 |
| 6.4. Limitationen der Studie..... | 78 |
| 7. Schlussfolgerung..... | 81 |
| 8. Literatur- und Quellenverzeichnis..... | 83 |

Anhang

| | | |
|--------------|--|------------|
| I. | Abbildungsverzeichnis..... | 93 |
| II. | Tabellenverzeichnis..... | 98 |
| III. | Anschreiben an die Patienten..... | 99 |
| IV. | Einwilligungserklärung..... | 101 |
| V. | Kreuzanalyse der Gruppenkombinationen für den Ergebnisteil..... | 102 |
| VI. | wissenschaftlicher Lebenslauf..... | 105 |
| VII. | Ehrenwörtliche Erklärung..... | 107 |
| VIII. | Danksagung..... | 108 |

1 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird die Problematik der Anschlussdegeneration nach operativer Intervention an zervikalen Halswirbelkörpern thematisiert. Grundlage bildet die seit den 50er Jahren als Goldstandard durchgeführte ventrale Dekompression spinaler Einengungen mit anschließender Fusion der Wirbelkörper (Quinn et al. 2015). Trotz Verbesserung der Schmerzen und neurologischen Symptomatik kam es in den sich anschließenden Segmenten zu einer erhöhten Belastung (Rosenthal 2013) mit vorzeitiger degenerativer Veränderung (Kepler und Hilibrand 2012). Mit dem Ziel der Reduktion dieser Degeneration wurden Bandscheibenprothesen etabliert, die die physiologische Bewegung der Wirbelsegmente erhalten sollen. Studien bestätigen ähnlich gute klinische Outcomes (Delamarter et al. 2010), jedoch fehlen radiologische Evaluationen hinsichtlich der Anschlussdegenerationen.

Basierend auf der Fragestellung, ob eine Anschlussdegeneration durch den Einsatz einer Prothese vermindert werden kann, wurden 28 Patienten mit Implantation einer zervikalen Bandscheibenprothese und 35 Patienten mit einer ventralen Platten-Schrauben-Spondylodese auf degenerative Veränderungen in den Anschlusssegmenten radiologisch und klinisch über einen Zeitraum von 5 Jahren nachkontrolliert. Die entscheidenden radiologischen Messgrößen waren hierbei: „Osteophytenwachstum ant. und post.“, „Höhenminderung der Zwischenwirbelräume“, „Verkalkung des Lig. longitudinale ant.“ und der Degenerationszustand anhand des „McAfee Scores“. Zur klinischen Beurteilung der operativen Verfahren dienten die numerische Rating-Skala sowie orthopädisch-neurologische Untersuchungen.

Als Ergebnis der Untersuchung stellten sich 5 Jahre postoperativ die anterioren Osteophyten im kranialen und der distal zum operierten Segment gelegene posteriore Osteophyt im kaudalen Anschlusssegment für die Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese mit einer geringeren Größenzunahme dar. Diese Patienten zeigten ebenso eine verringerte Abnahme der Zwischenwirbelraumhöhen und geringere Raten an Verkalkungen des Lig. longitudinale anterius. Die Ermittlung des McAfee Scores zur Bestimmung der segmentalen heterotopen Ossifikation nach Implantation einer Bandscheibenprothese zeigte über den Untersuchungszeitraum eine progrediente Verknöcherung der mit Prothese versorgten Segmente.

Eine Modifikation dieses Scores, als Maß zur Beurteilung von Bandscheibendegenerationen in den Anschlusssegmenten, ergab nur für Patienten mit Spondylodese eine Verschlechterung des Degenerationszustandes. Die klinischen Untersuchungen ergaben hinsichtlich des Schmerzempfindens, Zervikobrachialgien und Sensibilitätsstörungen, eine postoperative Verbesserung der präoperativ bestandenen Symptomatik in allen Patientengruppen. Schmerzen zeigten sich auch langfristig gegenüber der präoperativen Situation verbessert. Der Anteil an Patienten mit Zervikobrachialgien blieb in den Gruppen mit zervikaler prothetischer Versorgung über den gesamten Nachuntersuchungszeitraum gegenüber der präoperativen Situation vermindert. Bis auf die Patienten der Gruppe mit bisegmentaler zervikaler Bandscheibenprothese, zeigte sich in allen Gruppen eine dauerhafte Reduktion präoperativer Sensibilitätsstörungen.

Als Fazit ergibt sich, dass die Implantation einer zervikalen Bandscheibenprothese zusätzlich zur Verbesserung von Schmerzen und neurologischer Symptomatik, Anschlussdegenerationen über einen Zeitraum von 5 Jahren sicher vermindert. Während dieser Periode kommt es jedoch zunehmend zur heterotopen Ossifikation des operativ versorgten Segments, deren Auswirkung auf benachbarte Segmente in Langzeitstudien beobachtet werden muss. Die zervikale Bandscheibenprothese vermindert im Gegensatz zur Spondylodese für einen definierten Zeitraum degenerative Prozesse anschließender Segmente und ist damit eine sinnvolle Intervention im Rahmen der operativen Therapie degenerativ bedingter zervikobrachialer und zervikomedullärer Symptomatik an der Halswirbelsäule.

2 Einleitung

2.1. Anatomie der Halswirbelsäule

Die Halswirbelsäule besitzt mit ihren 7 Segmenten (Abb. 1) die größte Beweglichkeit der Wirbelsäule. Es unterscheiden sich der 1. (C1 - Atlas) und 2. (C2 - Axis) Wirbelkörper nicht nur morphologisch sondern auch funktionell vom restlichen Aufbau. Sie tragen die Hauptlast des Kopfes und ermöglichen als Kugelgelenk eine Bewegung in alle Freiheitsgrade (Niethard et al. 2009, Schünke et al. 2005).

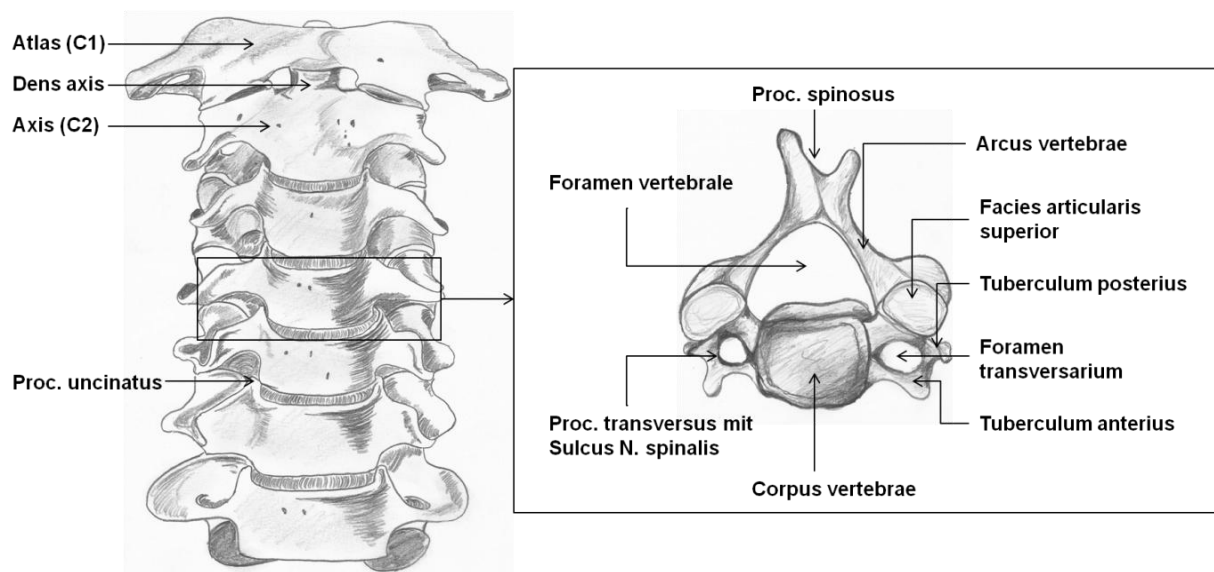


Abbildung 1 – Anatomie der Halswirbelsäule in ventraler Ansicht, Ausschnitt: 4. Halswirbel, modifiziert nach Schünke et al. (2005), S. 85, 102

Die weiteren Wirbel der HWS ähneln sich mit ihrem annähernd würfelförmigen Wirbelkörper und einem großem dreieckigen Foramen vertebrale in ihrer Morphologie (Abb. 1). Die kranialen Flächen der Wirbelkörper besitzen seitliche Erhebungen, die Procc. uncinati, welche sich im Laufe der Kindheit ausbilden und erst im Alter von 10 Jahren mit der Unterfläche des oben angrenzenden Wirbelkörpers in Kontakt treten. Sie limitieren Rotationsbewegungen und verhindern bei Lateralflexion eine Kompression des Rückenmarks. Der Proc. transversus wird aus einer ventralen und dorsalen Spange gebildet, die das Foramen transversarium, indem ab dem 6. Halswirbel beidseits die A. vertebralis nach kranial verläuft, umschließt. Im Sulcus N. spinalis der Halswirbelkörper C3 – C7 verläuft jeweils der zugehörige Spinalnerv in die Peripherie. Dorsal wird das Foramen vertebrale durch den Proc. spinosus begrenzt, welcher sich am 7. Halswirbelkörper als Vertebra

prominens deutlich darstellt und als Orientierungspunkt des menschlichen Rückens dient (Schünke et al. 2005).

Nach dem Modell von Junghans (Abb. 2) bilden zwei benachbarte Wirbelkörper mit ihren Facettengelenken und der dazugehörigen Bandscheibe sowie dem Lig. longitudinale ant. et post., dem Lig. flavum, dem durch das Foramen intervertebrale austretenden Spinalnerven und der autochthonen Rückenmuskulatur eine funktionelle Einheit (König und Spetzger 2014).

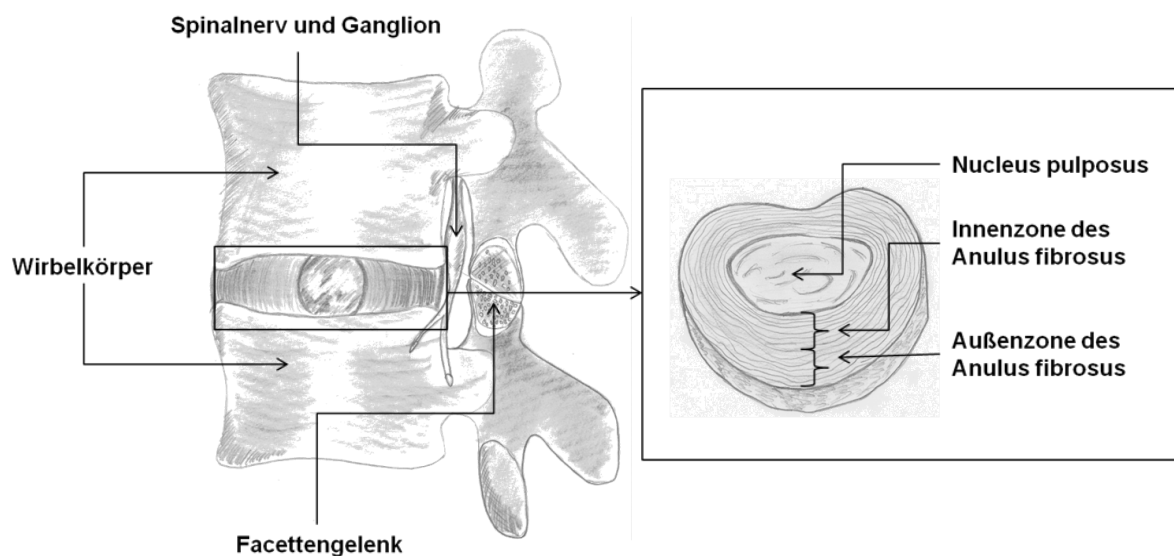


Abbildung 2 – Bewegungssegment nach Junghans, modifiziert nach Niethard et al. (2009), S. 393, Ausschnitt: Aufbau einer Bandscheibe, modifiziert nach Schünke et al. (2005), S. 92

Die Bandscheibe besteht aus einem äußeren Faserring, dem Anulus fibrosus und einem inneren Gallertkern, dem Nucleus pulposus. Der Anulus fibrosus gliedert sich in eine Außenzone aus straffem, konzentrisch aufgebautem und somit zugfestem Bindegewebe (Typ-I-Kollagenfasern) und einem inneren faserknorpeligem Gewebe (Typ-II-Kollagenfasern), welches direkt in die hyalinknorpelige Grund- und Deckplatte einstrahlt. Sie dient der Verteilung des Drucks auf die gesamte Fläche der Wirbelkörper und ermöglicht somit die Abpufferung von Überbelastungen (Siegenthaler und Amann-Vesti 2006). Axiale Belastungen führen zur Verformung des gallertartigen Nucleus pulposus, der den Anulus fibrosus dehnt, welcher anschließend aufgrund seiner straffen und elastischen Fasern den Ausgangszustand der Bandscheibe wiederherstellt. Rotations- und Scherkräfte werden hauptsächlich über den Anulus fibrosus kompensiert (König und Spetzger 2014).

2.2. Biomechanik und Funktionsprüfung der Halswirbelsäule

Die funktionelle Überprüfung der HWS, welcher grundsätzlich 6 Bewegungsrichtungen (Inklination/Reklination, Lateralflexion und Rotation) möglich sind, erfolgt mittels Neutral-Null-Methode. Hierbei dienen die in der Abbildung 3 dargestellten Normwerte zur Orientierung (Schünke et al. 2005).

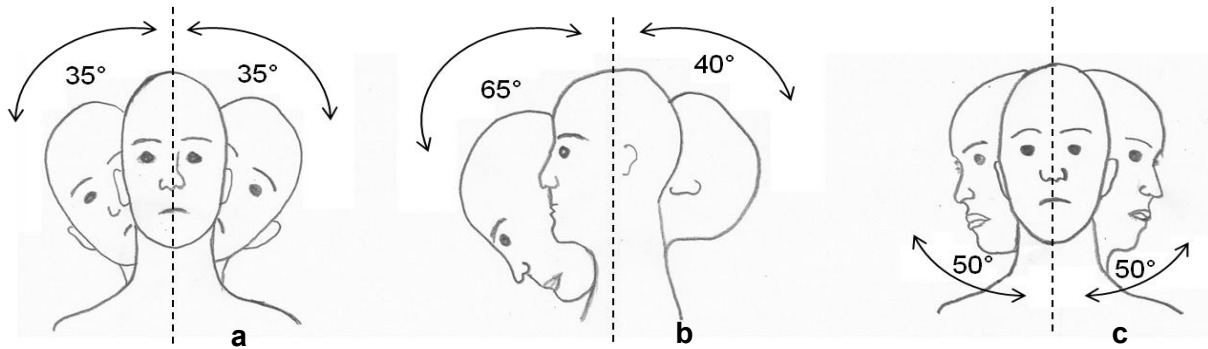


Abbildung 3 – Gesamtbeweglichkeit der HWS; a) Lateralflexion jeweils 35°, b) Ventralflexion 65°, Dorsalextension 40°, c) Rotation jeweils 50°, modifiziert nach Schünke et al. (2005), S. 101

Hiervon zu differenzieren sind die Bewegungsumfänge der einzelnen Segmente der HWS (Tab. 1), die von White und Panjabi (1990) in umfassenden Untersuchungen ermittelt werden konnten.

Tabelle 1 – Segmentale Beweglichkeit der HWS mit Mittelwerten und Grenzwerten in Winkelgraden (°) nach White und Panjabi (1990)

| Bewegungsrichtung | C0/1 | C1/2 | C2/3 | C3/4 | C4/5 | C5/6 | C6/7 |
|---|------|------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Kombinierte Flexion/Extension | 25° | 20° | 10° (5 – 16°) | 15° (7 – 26°) | 20° (13 – 29°) | 20° (13 – 29°) | 17° (6 – 26°) |
| Lateralflexion jeweils pro Seite | 5° | 5° | 10° (11 – 20°) | 11° (9 – 15°) | 11° (0 – 16°) | 8° (0 – 16) | 7° (0 – 17°) |
| Rotation jeweils pro Seite | 5° | 40° | 3° (0 – 10°) | 7° (3 – 10°) | 7° (1 – 12°) | 7° (2 – 12°) | 6° (2 – 10°) |

2.3. Traumatische Veränderungen an der Halswirbelsäule

Aufgrund der unterschiedlichen biomechanischen Beanspruchung besteht in der HWS eine Zunahme der Verletzungshäufigkeit hin zu den kaudalen Abschnitten. Besonders gefährdet sind degenerativ vorgeschädigte Halswirbelsäulen. Vielfach entstehen Extensions- und Flexionstraumata, die oft im Zusammenhang mit

Verkehrsunfällen stehen. Entsprechend der Kraft der Gewalteinwirkung können die Verletzungen von Zerrungen bis hin zu Bandscheibenrupturen oder gar Wirbelfrakturen reichen (Krämer 2014).

Anhand des 3-Säulen-Modells nach Denis und der Klassifikation der Verletzungsmechanismen nach Magerl können Frakturen in stabil und instabil gegliedert werden. Die ventrale Säule besteht aus dem Lig. longitudinale anterius sowie der ventralen Hälfte des Wirbelkörpers. Die mittlere Säule erstreckt sich von der dorsalen Wirbelkörperhälfte über die Hinterkante und das Lig. longitudinale posterius bis zum Wirbelbogen. Die dorsale Säule wird von den Wirbelbögen, den Wirbelgelenken und den Fortsätzen gebildet. Eine Instabilität liegt vor, wenn mindestens zwei Säulen oder die hintere Säule betroffen sind. Dabei ist die Stabilität vor allem vom Ausmaß der Verletzung der diskoligamentären Strukturen gekennzeichnet (Niethard et al. 2009, Magerl et al. 1994, Denis 1983).

Bei einer Kompressionsverletzung kommt es bei intakten dorsalen ligamentären Strukturen zu einem höhenverminderten Wirbelkörper. Bei diesem Frakturtyp ist meistens eine Stabilität gewährleistet. Hingegen können Distraktionskräfte zu einer horizontalen ligamentären und osseären Zerreißung aller 3 Säulen führen, die zu einer Instabilität beitragen können. Unter Rotationsverletzungen versteht man instabile Frakturen mit der höchsten Rate an neurologischen Komplikationen. Die Rotationsverletzung geht nahezu immer mit Kompressions- und Distraktionsverletzungen einher (Niethard et al. 2009, Magerl et al. 1994, Denis 1983). Kommt es durch dislozierte Fragmente und Instabilitäten zu Kompressionen des Myelons mit neurologischer Symptomatik, so stellt eine operative Therapie die beste Möglichkeit dar. Hier eignet sich eine ventrale Spondylodese mit Beckenkammspan- oder Cageinterposition (s. Kapitel 2.6.5. Ventrale Platten-Schrauben-Spondylodese).

2.4. Degenerative Veränderungen an der Halswirbelsäule

Laut Grifka und Krämer (2013) haben 50% der orthopädischen Patienten eine bandscheibenbedingte Wirbelsäulenpathologie. Davon entfallen rund 33% auf die HWS. Es können vielfältige Ursachen zugrunde liegen. Hauptursache der Beschwerden sind degenerative Alterungsprozesse (Theodoridis et al. 2006).

2.4.1. Lokales Zervikalsyndrom

Ein lokales Zervikalsyndrom bezeichnet Schmerzen der Halsregion, die durch degenerative oder funktionelle Störungen der zervikalen Bewegungssegmente ausgelöst werden. Patienten klagen über bewegungs- oder positionsabhängige Schulter-Nacken Schmerzen, die zu Fehlhaltungen der HWS und muskulären Verspannungen führen. Hierbei sollte es zu keinen neurologischen Symptomen, wie Paresen oder Parästhesien kommen. Degenerative Veränderungen führen zur Reizung des Lig. longitudinale post. und dem Wirbelperiost (Krämer 2014). Die dort verlaufenden sensiblen Fasern des Ramus meningeus und dorsalis, die in Abbildung 4 dargestellt sind, werden gereizt und verursachen den betroffenen Patienten Schmerzen.

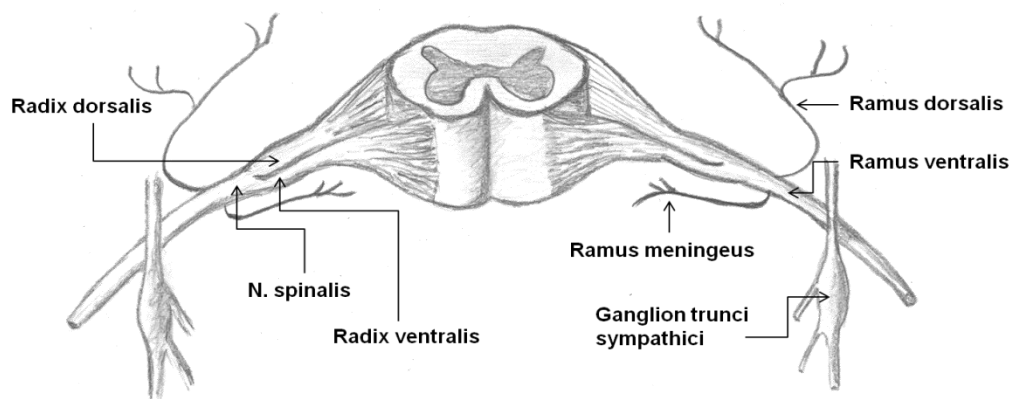


Abbildung 4 – Gliederung eines Spinalnervens, R. dorsalis und R. meningeus, modifiziert nach Schünke et al. (2005), S. 63

2.4.2. Zervikobrachiales Syndrom

Eine Zervikobrachialgie zeichnet sich durch radikulär ausstrahlende Schmerzen mit möglichen zusätzlichen Sensibilitätsstörungen und Paresen aus. Hierbei werden die Rr. ventralis der Spinalnerven (Abb. 4) durch eine degenerative Veränderung gereizt. Eine akute plötzliche Symptomatik weist auf Bandscheibenprotrusion oder -prolaps hin, während eine knöcherne Irritation durch unkovertbrale Osteophyten einen langsamen Verlauf mit Neigung zur Chronifizierung aufweist (Krämer 2014).

Bandscheibenprotrusionen und -prolaps im zervikalen Bereich sind im Vergleich zu lumbalen Erscheinungen eher selten (Krämer 2014). Mit bestehender Ausbildung der Unkovertbralgelenke im Alter von 10 Jahren kommt es zunehmend zur Rissbildung der Bandscheiben, welche sich nach zentral ausbreitet. Es resultiert eine Abflachung der Bandscheibe und eine Instabilität der Wirbelkörpersegmente (Schünke et al.

2005). Die Bandscheibe selbst ist nicht vaskularisiert und betreibt somit ihren Stoffwechsel alleine durch den Wechsel von Belastung („Auspressen“ von Wasser und Stoffwechselprodukten) und Entlastung („Ansaugen“ von Wasser und Stoffwechselsubstraten). Der Belastungsdruck ändert sich mit der Körperposition (im Liegen: 0,1 MPa, im Stehen: 0,5 MPa, beim Heben und Tragen: bis zu 2,3 MPa) (Theodoridis et al. 2006). Durch ständige axiale Druckbelastung und verminderten Stoffaustausch u.a. auch bei Bewegungsmangel, kommt es schließlich zum Durchbruch des Nucleus pulposus durch seine derbe, faserige Hülle. Dabei werden die Grade der Bandscheibendegeneration in 3 Stadien eingeteilt.

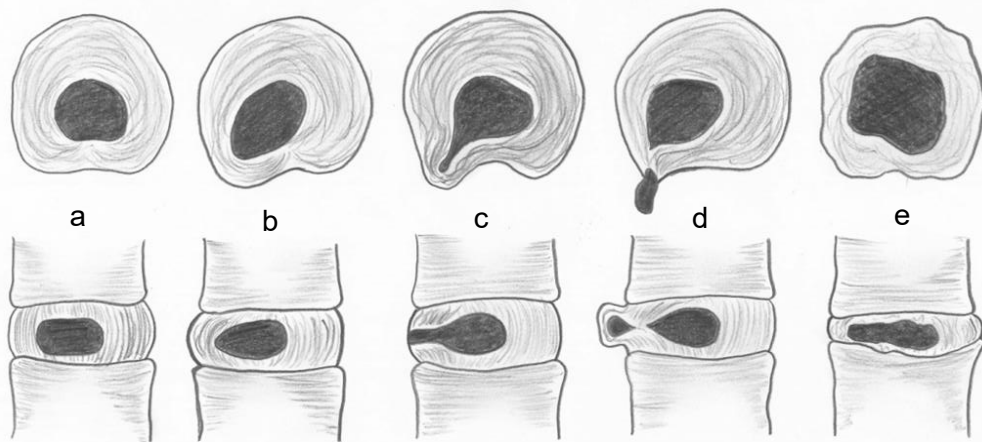


Abbildung 5 – Stadien der Degeneration einer Bandscheibe, modifiziert nach Grifka und Krämer (2013), S. 498

Abbildung 5/a kennzeichnet eine unauffällige Bandscheibe. Abbildung 5/b entspricht Grad I einer Degeneration mit Vorwölbung des Anulus fibrosus (Bandscheibenprotrusion), der in diesem Falle noch so viel Widerstandskraft besitzt, dass einem Austritt der gallertigen Masse entgegengewirkt wird. Die schematische Darstellung in Abbildung 5/c deklariert das Stadium II mit Radiärrissen im Anulus fibrosus sowie einer daraus resultierenden Verlagerung des zentralen Bandscheibengewebes (Bandscheibenprolaps) über dessen Grenzen hinaus. Die austretende Gallertmasse kann dorsolateral auf die Spinalnerven drücken und so Beschwerden in Form von Schmerzen, Fehlhaltungen und neurologischen Ausfällen verursachen. In manchen Fällen lösen sich auch Teile des Gallertkerns ab und rutschen in den Spinalkanal, welches als „sequestrierter Bandscheibenprolaps“ bezeichnet wird (Abb. 5d). Grad III einer Bandscheibendegeneration bezeichnet deren Austrocknung und Verfestigung und somit die Teilversteifung des entsprechenden Bewegungssegments, welche häufig jenseits des 60. Lebensjahrs entsteht (Abb. 5/e). In diesem Stadium sind es

somit eher Osteophyten und keine Bandscheibenvorfälle, die den Patienten Beschwerden bereiten (Grifka und Krämer 2013).

Diese knöchernen Degenerationen zur Verbreiterung der kraftaufnehmenden Fläche sind im Verhältnis zu Bandscheibenprotrusionen und –prolaps häufiger (Krämer 2014). Im Verlauf kann es zu einer knöchernen Spangenbildung kommen, die die Bewegungssegmente versteifen kann. Durch fortschreitendes posterolaterales Wachstum der Osteophyten mit Einengung des Foramen transversarium und des Neuroforamens kommt es zur Kompression des jeweiligen Spinalnerven, was sich in radikulären Brachialgien und Sensibilitätsstörungen äußert und nicht selten auch bei lateralem Wachstum der Osteophyten zur Kompression der A. vertebralis mit neurovaskulären Symptomen führt (Schünke et al. 2005). Die Symptome eines zervikobrachialen Syndroms durch knöcherne Kompressionen haben einen langsamen Verlauf und werden vorwiegend positionsabhängig getriggert. Patienten berichten vor allem über nächtliche Schmerzen mit Kribbelparästhesien und Taubheitsgefühlen im entsprechenden Dermatom. In Höhe des komprimierten Spinalnerven lassen sich klinisch häufig Druck- und Klopfschmerzen auf dem Proc. spinosus auslösen (Krämer 2014).

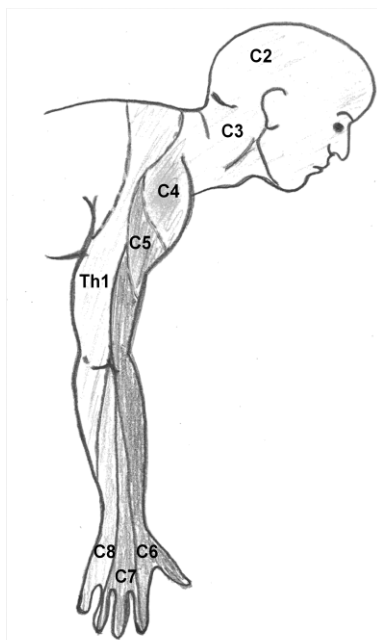


Abbildung 6 – Dermatome obere Extremität, modifiziert nach Schünke et al. (2005), S. 65

Wurzelreizsyndrome treten häufig monoradikulär auf, können jedoch aufgrund von Anastomosen innerhalb des Durasackes oder gleichzeitiger Irritation mehrerer Spinalnerven auch als Mischformen auftreten. Häufig sind nach Studien von Grifka und Krämer (2013) das C5, C6, C7 und C8 Syndrom. Reizungen der Nervenwurzeln C3 und C4 sind nach deren Studien sehr selten. Entsprechend der spinalnervbezogenen Dermatome der HWS (Abb. 6) nehmen Patienten beim C5 Syndrom Schmerzen im Bereich der Schulter und entlang des proximalen Oberarms wahr. Paresen des M. deltoideus und M. biceps brachii mit eingeschränktem Eigenreflex sind möglich. Bei dem C6 Syndrom kommt es durch Paresen des M. biceps brachii und M. brachioradialis zu Kraftminderungen beim

Anwinkeln des Ellenbogens. Schmerzen und Sensibilitätsstörungen finden sich radialseitig entlang des Ober- und Unterarms bis hin zum Daumen und radialem Anteil des Zeigefingers. Möglich sind Abschwächungen des Bizeps- und Radiusperiotreflex. Das C7-Syndrom äußert sich mit Ausstrahlung in die Mittelfinger. Paresen und Atrophien im M. trizeps brachii, M. pronator teres und in den Daumenballenmuskeln sowie ein abgeschwächter Trizepssehnenreflex sind möglich. Durch eine Kompression des 8. Spinalnerven kann es zu einschließenden Schmerzen und Parästhesien bis in die Kleinfingerseite der Hand kommen. Motorisch sind Paresen der Mm. interossei und der Muskulatur des Kleinfingerballens denkbar. Auch hier sind Atrophien möglich, jedoch weniger ausgeprägt als die C7 spezifische Thenaratrophie (Krämer 2014).

2.4.3. Zervikozepales Syndrom

Bei zusätzlicher Kompression der A. vertebralis im Foramen transversarium sowie dem paravertebral verlaufendem Sympathikus, z.B. durch laterale knöcherne Ausziehungen der Procc. uncinati, kann es zu Durchblutungsstörungen und Störungen der neurovegetativen Funktionen kommen, welche sich in Form von Kopfschmerzen, Schwindelattacken, Hör-, Seh- und Schluckstörungen äußern können. Getriggert werden kann diese Symptomatik durch Reklination und Rotation der HWS mit daraus resultierender Verkleinerung des Reserveraums der A. vertebralis. Diese Symptomatik in Kombination mit einem Zervikalsyndrom wird als zervikozepales Syndrom bezeichnet (Krämer 2014).

2.4.4. Zervikale Myelopathie

Osteophyten, die sich an der posterioren Wirbelkante ausbilden, können zu knöchernen Spinalkanalstenosen und damit zur Kompression des Myelons führen (Schünke et al. 2005). Hieraus resultieren in den unteren Extremitäten Hyperreflexien, pathologische Pyramidenbahnzeichen (z.B. Babinski-Reflex), eine Tonuserhöhung der Beinmuskulatur sowie Pallhypästhesien. In den Händen kommt es zu Störungen der Feinmotorik und nicht-radikulären Hypästhesien. Es kann auch zu zentral bedingten vegetativen Störungen mit Harn- und Stuhlinkontinenz kommen (König und Spetzger 2014). Seltener als die langsame Kompression des Myelons durch knöcherne Exostosen kommt es zu einem akuten zervikalen medialen

Massenprolaps der Bandscheibe, welcher zu einer sensomotorischen Querschnittssymptomatik führen kann (König und Spetzger 2014).

2.4.5. Anschlussdegenerationen

Anschlussdegenerationen entstehen kranial und kaudal operativ versorgter Wirbelsegmente. Studien von Rosenthal (2013), Lopez-Espina et al. (2006) und Chang et al. (2007) zeigten, dass eine Fusion von Wirbelkörpern zu einer gestörten Biomechanik führt. Kepler und Hilibrand (2012) berichten, dass 2 – 3% der Patienten mit Fusion jährlich von einer Anschlussdegeneration betroffen sind. Innerhalb der ersten 10 Jahre soll dies auf mehr als 25% ansteigen (Rhin et al. 2009). Hierbei zeigte eine Studie von Goffin et al. (2004) dass die Ursache für die Operation keinen Einfluss auf das Outcome hatte. So ergaben sich sowohl bei Patienten mit präoperativ degenerativer Problematik, als auch bei Patienten mit traumatischer Genese, beschleunigte Degenerationen der anschließenden Segmente. Zur Definition wann es sich um eine Anschlussdegeneration handelt gibt es verschiedene Kriterien, die im Folgenden definiert werden.

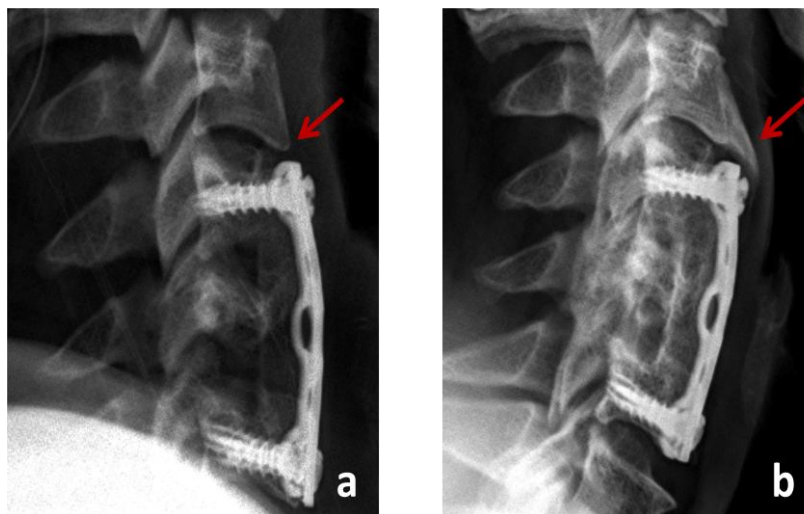
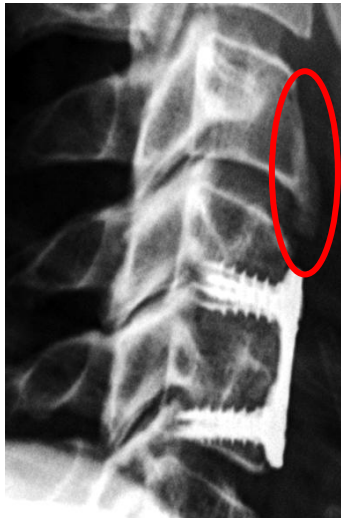


Abbildung 7 – Wachstum des Osteophyten an der anterioren Wirbelkante im kranialen Anschlusssegment C3/4 nach ventraler Spondylodese C4-6, P. L., 28-jähriger Patient, laterales Röntgenbild, a) direkt postoperativ, b) 3 Jahre postoperativ

Besonders deutlich als morphologisches Korrelat einer Anschlussdegeneration stellen sich Osteophyten dar (Abb. 7). Dabei handelt es sich um knöcherne Ausziehungen an den Wirbelkörperkanten mit zunächst horizontalem und später vertikalem Verlauf (Steinhagen et al. 2007), die aufgrund der pathologischen Biomechanik des versteiften Wirbelsegmentes die Druckfläche in den Anschlusssegmenten vergrößern sollen.

Auch die Hypertrophie und Verkalkung der Längsbänder, die aufgrund der Mehrbelastung des Bandapparates durch die Höhenabnahme der Bandscheibe entsteht ist ein Degenerationszeichen. Um diesem Ungleichgewicht innerhalb des Bewegungssegments entgegenzuwirken, wird vermehrt Knochen und Bindegewebe gebildet. Besonders gut lässt sich das Lig. longitudinale anterius im konventionellen



Röntgenbild beurteilen (Abb. 8). Verkalkt dieses, so lässt sich eine Transparenzzunahme ventral der Wirbelsäule in der lateralen Aufnahme beobachten, da sich Kalk röntgendicht darstellt. Gemeinsam mit den anterioren Osteophyten kann sich eine knöcherne ventrale Überbrückung des betroffenen Segmentes mit Komplikationen wie Dysphagie, Plexus brachialis Kompression, Recurrens Lähmung, Aphonie und Unbeweglichkeit oder Schleimhautverdickung des Kehlkopfes ausbilden (Kosuri et al. 2014).

Abbildung 8 – Verkalkung des Lig. longitudinale anterius C3/4, H.-P. F., 54-jähriger Patient, laterales Röntgenbild, 1 Jahr nach ventraler Spondylodese C4/5








Für die Beurteilung der Degeneration in den operativ mit Bandscheibenprothese versorgten Segmenten sowie den Anschlusssegmenten beider operativen Techniken (s. Kapitel 2.6.5 und 2.6.6) dient der McAfee Score zur Klassifikation heterotoper Ossifikationen (McAfee et al. 2003). Dabei handelte es sich ursprünglich um ein Score System zur Bewertung der Degeneration eines Segmentes nach operativem



Einsatz einer Bandscheibenprothese im lumbalen Bereich. Für die Anwendung an der HWS, kann wie in Abbildung 9 dargestellt, der Verknöcherungszustand einer implantierten Prothese definiert werden. In modifizierter Weise kann ebenfalls eine Anwendung für die jeweiligen Anschlusssegmente vorgenommen werden. Der Degenerationszustand eines Segmentes wird wie in Tabelle 2, mit einem dargestellt Punktwert zwischen 0 und 6 bewertet.

Abbildung 9 – McAfee Score Wert 4 einer heterotopen Ossifikation des mit Bandscheibenprothese versorgten Segments C6/7, 1 Jahr postoperativ, U. R., 46-jähriger Patient, laterales Seitenbild

Tabelle 2 – Übersicht über den originalen und für diese Studie modifizierten McAfee Score Werte in den Anschlusssegmenten

| Original Score | neuer Wert | Bedeutung | laterales Röntgenbild |
|----------------|------------|---|---|
| 0 | 0 | Kein Osteophyt |  |
| I | 1 | Osteophyten, nur als knöcherne Insel ohne Affektion des intervertebralen Raumes |  |
| II | 2 | Osteophyten mit neuer knöcherner Formation im intervertebralen Raum, ohne Artikulation zwischen den angrenzenden Endplatten |  |
| | 3 | Osteophyten mit neuer knöcherner Formation im intervertebralen Raum, Verringerung von ROM, jedoch ohne komplette Brückenbildung |  |
| III | 4 | Brückenbildende Verknöcherung mit noch vorhandener Bewegungsmöglichkeit |  |
| IV | 5 | Komplette knöcherne Ankylose ohne Beweglichkeit des Segments |  |
| | 6 | Operative Spondylodese |  |

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die morphologische und degenerative Veränderung der Bandscheibe (Abb. 5), welche sich im Röntgenbild mit einer Höhenminderung der Zwischenwirbelräume darstellt. Weiterhin zeigen sich aufgrund der verstärkten Belastung in den Anschlusssegmenten subchondrale Sklerosierungen der Grund- und Deckplatten sowie Mikrofrakturen, Einblutungen, Fibrotisierungen, Nekrosen sowie Unkovertebralarthrosen mit Einengungen der Neuroforamina und Spondylarthrosen (Steinhagen et al. 2007).

Auch Anschlussdegenerationen führen zu Zervikobrachialgien und Sensibilitätsstörungen, die in Form von Kribbelparästhesien, Dysästhesien und Taubheitsgefühlen auftreten können. Weiterhin klagen Patienten über Schmerzen, die mit Hilfe der NRS bzw. der VAS objektivierbar gemacht werden können. Dabei handelt es sich um eine Ratingskala, die erstmals von Hayes und Patterson (1921) als Methode zur Beurteilung von Arbeitern durch deren Vorgesetzte verwendet wurde. Für den Schmerz modifiziert handelt es sich bei der NRS um eine Skala mit Werten zwischen 0 und 10 (Abb. 10). Bei der VAS haben die Patienten die Möglichkeit anhand glücklicher oder unglücklicher Gesichter ihre Schmerzen für den Untersucher objektiv darzustellen.

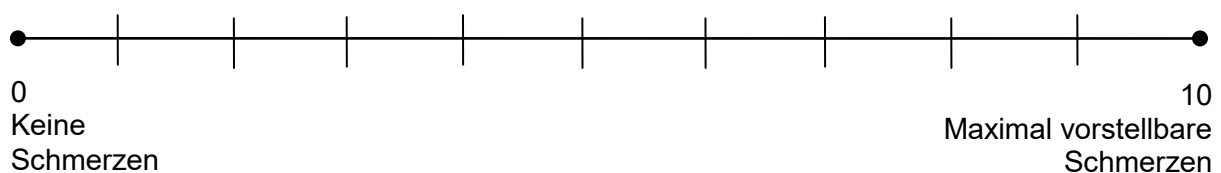


Abbildung 10 – numerische Rating-Skala (NRS) zur Erfassung des subjektiven Schmerzempfindens

2.5. Konservative Therapie

Bei traumatisch oder degenerativ bedingten Erkrankungen der HWS ohne dringende Operationsindikation kommt ein großes Therapiespektrum zum Einsatz. Entscheidend für die Indikationsstellung sind sowohl der Entstehungsmechanismus als auch die Symptomatik. Auch sekundäre Erscheinungen wie Muskelverspannungen, Haltungstörungen und psychische Komponenten sollten im Rahmen der multimodalen Schmerztherapie mit begleitender Physio- und ggf. Psychotherapie bedacht werden.

Führend ist eine schmerzadaptierte Analgesie mit NSAR. Eine frühzeitige Anwendung kann reflektorisch bedingte Spannungszustände der Muskulatur lösen. Zudem können durch die antiphlogistische Komponente die durch mechanische Irritation entstandenen entzündlichen Veränderungen positiv beeinflusst werden (Krämer 2014). Bei Nichtansprechen der NSAR empfiehlt sich nach dem Stufenschema der WHO die zusätzliche Gabe von zentral wirksamen Opioiden (König und Spetzger 2014). Auch die Applikation von Wärme mit vermehrter Gewebedurchblutung löst muskuläre Verspannungen und mildert entzündliche Reizzustände des Wirbelperiosts durch Überdehnung des Lig. longitudinale posterius bei Bandscheibenprotrusion (Krämer 2014). Auch Kälte kann durch seine reaktive hyperämisierende Wirkung schmerzlindernd wirken. Viele Patienten profitieren von der Anwendung transkutaner elektrischer Nervenstimulation (TENS), die schmerzlindernd wirkt und vom Patient selbst angewendet werden kann (König und Spetzger 2014). Eine lokale Injektionsbehandlung mit Lokalanästhetika und Kortison an den zervikalen Sympathikus sowie den betroffenen Spinalnerven kann die schmerzhafteste Reizquelle ausschalten. Auch eine epidurale Injektion dieser Wirkstoffe ermöglicht einen analgetischen, abschwellenden und entzündungs-hemmenden Effekt auf die umspülte Nervenwurzel und das dislozierte Bandscheibengewebe. Dieses Verfahren wird als periradikuläre Therapie (PRT) bezeichnet. Eine direkte Infiltration in die Facettengelenke bei arthrotischen Veränderungen ist ebenso möglich (König und Spetzger 2014).

Nach dem Abklingen der Akutsymptomatik stellen sich regelmäßige Massagen zur Lockerung verspannter Muskulatur wertvoll dar (Krämer 2014). Traktionsbehandlungen (z.B. mit einer Glissonschen Schiene) erweitern durch Zug an der HWS degenerativ höhengeminderte Zwischenwirbelabschnitte und die Foramina intervertebralia und entlasten damit die Nervenwurzeln. Die kurzzeitige Erweiterung des Zwischenwirbelraums dekomprimiert die Bandscheibe und sorgt für Flüssigkeits- und Nährstoffaufnahme. Gleichzeitig können sich prolabierte Bandscheibensegmente durch die Höhenzunahme des Zwischenwirbelraums in ihre physiologische Position zurückziehen (Krämer 2014). Durch diese Therapiemöglichkeiten sollten optimale muskuläre und entzündungsfreie Verhältnisse geschaffen werden, die eine anschließende krankengymnastische Behandlung mit isometrischen Spannungs- und komplexen Bewegungsübungen ermöglichen (König und Spetzger 2014).

2.6. Operative Therapie

2.6.1. Historische Entwicklung der operativen Verfahren

Laut statistischem Bundesamt wurden in Deutschland im Jahr 2014 insgesamt 16,2 Millionen Operationen durchgeführt. Bei rund 4,55 Millionen dieser chirurgischen Eingriffe handelte es sich um Operationen im Bereich des Bewegungssystems, wovon 130.487 auf eine dynamische Stabilisierung der Wirbelsäule zurückzuführen sind (Statistisches Bundesamt 2014). Die Anzahl der Stabilisierungen an der Wirbelsäule ist seit 2006 um fast 100.000 Patienten pro Jahr angestiegen und hat sich somit innerhalb von 8 Jahren vervierfacht (Statistisches Bundesamt 2006). Gründe hierfür liegen in den verbesserten diagnostischen und operativen Versorgungsmöglichkeiten der Wirbelsäule. Nicht zuletzt sind hierfür auch die zahlreichen Bandscheibenprothesen, die als Interponat nach Entfernung einer degenerativ veränderten Bandscheibe eingesetzt werden verantwortlich.

Geschichtlich gesehen war Küttner am Ende der 1920er Jahre der erste Operateur, der einen Diskusprolaps mit Nervenkompression entfernte (König und Spetzger 2014). In den folgenden Jahrzehnten beschäftigte man sich zunehmend mit den operativen Möglichkeiten von diskogenen Myelon- und Nervenkompressionen. Dorsal konnte ein Prolaps mit Hilfe einer Laminektomie entfernt werden, erzielte jedoch nicht die gewünschten Ergebnisse, da die Nervenwurzel im Foramen intervertebrale durch dieses Verfahren nicht ausreichend dekomprimiert werden konnte. Auch die Verbesserung der Operationstechnik durch Scoville (1946) und Frykholm (1947) mit Hilfe einer Kugelfräse, die das Foramen transversarium vergrößern sollte, konnte kein suffizientes Ergebnis erzielen. Erst 1958 konnte Cloward die ventrale Entfernung des Bandscheibengewebes mit interkorporeller Spondylodese mittels Beckenkammspan etablieren (Cloward 1958). Smith und Robinson (1958) verwendeten ein ähnliches Verfahren mit rechteckigem autologen Knochentransplantat. Diese Technik stellte trotz hoher Komplikationsraten an der Entnahmestelle des Beckenkammspanns den Goldstandard der Therapie eines Bandscheibenprolapses dar. Modifiziert werden konnte das Verfahren durch die Verwendung einer ventralen Platten-Schrauben-Spondylodese in den 1980er Jahren sowie dem Einsatz eines Polymethylmethacrylat (Grote und Röttgen 1967) als Alternative zu dem Beckenkammspan. Nach erhöhten Raten von Pseudarthrosen,

entwickelte sich der Cage mit einer zentralen Öffnung zur Ossifikation benachbarte Wirbelsegmente als intervertebraler Platzhalter. Bei guter Regredienz neurologischer Symptomatik und Schmerzen ergab sich nun zusätzlich der Anspruch nach Erhalt der Wirbelsäulenbeweglichkeit (König und Spetzger 2014).

Von den 120 Patenten für Bandscheibeninterponate seit den 50er Jahren kam der überwiegende Teil nie zum klinischen Einsatz (Szpalski et al. 2002). Erst Mitte der 60er Jahre konnte, als bis dahin erfolgreichstes Verfahren, bei 250 Patienten ein Bandscheibenersatz von Fernström implantiert werden. Jedoch zeigte sich aufgrund der geringen Kontaktfläche mit den Grund- und Deckplatten bereits nach 5 – 7 Jahren ein Einsintern der Prothese in die Wirbelkörper (Fernström 1966).

Auf der Grundlage dieser Problematik entwickelten Schnellack und Büttner-Janz 1987 als Weiterentwicklung ihrer bisherigen Implantattypen die SB Charité III - Bandscheibenprothese (Abb. 11) mit breiten, flachen Endplatten aus einer Cobalt-Chrom-Legierung sowie einer Beschichtung der Rückflächen mit Titan-Calcium-Phosphat, welche die osseäre Integration beschleunigen sollte

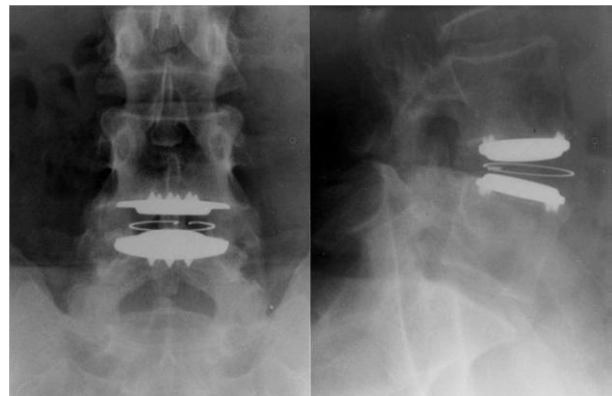


Abbildung 11 – SB Charité III Bandscheibenprothese L4/L5, a) a.p. Röntgenbild b) laterales Röntgenbild (Zeegers et al. 1999, S. 211)

(Büttner-Janz et al. 1987). In einer Studie von Cunningham et al. (2003) konnte an 8 menschlichen Wirbelsäulenmodellen nachgewiesen werden, dass die SB Charité Bandscheibenprothese die physiologische Bewegung für die Dorsalextension, Ventral- und Lateralflexion einer intakten Bandscheibe wiederherstellt und für die axiale Rotation sogar erhöht. Langzeitstudien von Lemaire et al. (2005) und David (2007) mit über 100 Patienten erbrachte nach einem Nachuntersuchungszeitraum von mindestens 10 Jahren zwischen 82 - 90% exzellente und gute Ergebnisse.

Aufgrund großer Erfolge und Verringerung der Invasivität bei den lumbalen Bandscheibenprothesen konnten entsprechende Implantate für die HWS Anfang der 90er Jahre entwickelt werden. Die ersten 1991 eingesetzten Prothesen wurden modifiziert unter dem Namen „Frenchay“-Modell bei 300 Patienten implantiert. 2000

wurde diese Prothese unter Änderung von Design und Fixation als Prestige®-Prothese auf dem Markt angeboten und zeigte hervorragende Langzeitergebnisse (Traynelis und Treharne 2007). Seit 2001 gibt es die Bryan-Prothese® (Medtronic), ein Modell aus zwei flachen Titanhalbschalen, die sich um einen Polyurethankern bewegen (Goffin et al. 2002). Im Jahre 2003 wurde die ProDisc® C Prothese mit einem zusätzlichen Kiel zur Verbesserung der Primärstabilität entwickelt. Eine Kurzzeitstudie von Nabhan et al. (2007a) konnte nachweisen, dass die physiologische Bewegung der HWS-Segmente nach ProDisc C® Implantation signifikant gegenüber einer Fusion erhöht ist. Ebenso ergab das 12-Monats Follow up von Bertagnoli et al. (2005) in den radiologischen Untersuchungen eine annähernd erhaltene Beweglichkeit der HWS-Segmente zwischen 4° und 12°. In den letzten Jahren ist die Anzahl an Bandscheibenprothesen weiterhin angestiegen. Als eines der jüngsten Verfahren entwickelte sich die ROTAIO® Prothese, die durch ein variables Rotationszentrum die natürliche facettengeführte Bewegung einer gesunden Bandscheibe nachvollziehen soll (Obernauer et al. 2016).

2.6.2. Indikationen und Kontraindikationen

Für die Indikation einer Operation sprechen generell alle akut aufgetretenen höhergradigen Paresen, welche einen Kraftgrad von 3 nach Janda unterschreiten. Hinzu kommen die definitiven Notfall-Operationen bei Patienten mit akuter kompletter oder inkompletter zervikaler Querschnittssymptomatik (Edwards et al. 2003). Therapieresistente Zervikobrachialgien, Hyp- und Parästhesien sowie latente Paresen hingegen sind elektive Eingriffe.

Die heute verwendeten Operationsverfahren der HWS sind sehr vielfältig und unterliegen neben den allgemeinen Faktoren wie Dringlichkeit des operativen Eingriffes, Lebensalter des Patienten, Beweglichkeit des betroffenen Segmentes sowie dessen Nachbarsegmenten, folgenden Entscheidungskriterien:

Vor allem im Falle von akuter Symptomatik mit Myelopathie, traumatischen Läsionen oder Frakturen sowie posttraumatischer Instabilität sollte eine ventrale Spondylodese bevorzugt werden. Ebenso bei ausgedehnten Tumoren und Mehrfachoperationen der Wirbelsäule. Bei multisegmentalen Pathologien der HWS ist eine langstreckige Fusion nur mit Platten-Schrauben-Spondylodese möglich (Bühren und Josten 2013). Da es sich häufig um Notfall bzw. dringende Indikationen handelt, gibt es relativ

wenige Kontraindikationen. Hier stehen in erster Linie die allgemeinen Operationskontraindikationen wie systemische, spinale oder lokale Infektionen oder Allergien gegenüber dem Spondylodesematerial.

Bei degenerativen Erkrankungen der Wirbelsäule mit radikulärer und pseudoradikulärer Symptomatik, welche knöchern, bindegewebig aber auch durch Arthrose der Facettengelenke bedingt sein können, bieten sich beide Operationsverfahren an. Hier entscheidet der Operateur anhand der Klinik und den allgemeinen patientenbezogenen Faktoren über die Operationstechnik. Vor allem bei monosegmentalen degenerativen Pathologien der HWS mit therapieresistenten neurologischen Defiziten, Radikulopathien oder voranschreitender Myelopathie wird eine operative Versorgung mit einer Bandscheibenprothese bevorzugt (McAfee 2004). Gegen den Einsatz eines Implantates sprechen vor allem Instabilitäten, traumatische Läsionen und Frakturen, Deformitäten der Wirbelsäule sowie besonders fortgeschrittene Degenerationen. Systemische Erkrankungen wie rheumatoide Arthritis oder sonstige Autoimmunerkrankungen, Osteoporose, Tumor- oder Knochenerkrankungen der Wirbelsäule bilden ebenfalls eine Kontraindikation (McAfee et al. 2005, Durbhakula und Ghiselli 2005). Zudem erscheint die mehrsegmentale Versorgung der HWS mit Prothesen als strittig. Während Durbhakula und Ghiselli (2005) nur eine monosegmentale Versorgung als sinnvoll betrachten, beschreiben die Autoren Bertagnoli et al. (2005) eine bi- und McAfee et al. (2005) sogar eine multisegmentale Versorgungsmöglichkeit der HWS mit zervikalen Bandscheibenprothesen. Hinzu kommen auch hier die allgemeinen Kontraindikationen wie bereits für die Platten-Schrauben-Spondylodese beschrieben.

2.6.3. Operativer Zugangsweg

Prinzipiell erfolgen diese Operationen über einen anterolateralen Zugangsweg, da das Myelon in den meisten Fällen ventral durch die Bandscheibe, das hintere Längsband oder Osteophyten der Wirbelkörper komprimiert wird. Zudem konnten Hussain et al. (2013) nach einer anterioren Operation einen geringeren Druck auf Bandscheiben und Facettengelenke benachbarter Wirbelsegmente als beim posterioren Zugangsweg nachweisen. Als Ursache für Anschlussdegenerationen sollte daher aus biomechanischer Sicht ein anteriorer Zugangsweg bevorzugt werden (Kepler und Hilibrand 2012).

Nach Rückenlagerung des Patienten erfolgt ein Hautschnitt in Höhe des betroffenen Halswirbelsäulenabschnittes. Das Platysma wird durchtrennt und der M. sternocleidomastoideus als Leitstruktur freipräpariert um die darunter liegende äußere Halsfaszie entlang seines Verlaufes zu durchtrennen. Durch stumpfes Präparieren können Blutgefäße und Nerven aufgesucht und zusammen mit dem M. sternocleidomastoideus mit einem chirurgischen Haken nach lateral und Schilddrüse, Trachea und Ösophagus nach medial verlagert werden. Es erfolgt die Durchtrennung der Faszie prävertebralis mit Freilegung des M. longus colli. Nach dessen Abschiebung an der Vorderfläche der Wirbelkörper wird das Lig. longitudinale ant. sichtbar. In die angrenzenden Wirbelkörper des betroffenen Bandscheibenfaches werden Distraktionspins eingedreht und ein Distraktor aufgesetzt, der das Lig. longitudinale ant. aufspannt. Nach der Durchtrennung dieses Bandes ist der Zugang zum Bandscheibenfach möglich. Entsprechend dem Ausmaß der Degeneration oder Verletzung können mikroskopisch assistiert die Bandscheibe, Knochenfragmente, Osteophyten sowie das Lig. longitudinale post. entfernt werden und somit zur Dekompression des Myelons beitragen. Die nun entstandene „Zwischenwirbelraum-Lücke“ kann je nach Indikation mit Knochenspan, einem Cage oder einer zervikalen Bandscheibenprothese aufgefüllt werden (Grifka und Krämer 2013).

2.6.4. Anteriore zervikale Nukleotomie

Die Nukleotomie einer erkrankten Bandscheibe ohne anschließende Fusion erzielt gute klinische Ergebnisse hinsichtlich der Verbesserung von Schmerzen und neurologischer Symptomatik. In einer Studie von Xie et al. (2007) konnten keine Unterschiede in der Schmerzreduktion zwischen einfacher Nukleotomie und zusätzlicher Fusion evaluiert werden. Weiterhin besteht ein schonenderes Operationsverfahren mit geringeren Kosten und keinen signifikanten Unterschieden in der Entstehung von Anschlussdegenerationen im Vergleich zur Fusion (Hauerberg et al. 2008). Es zeigte sich jedoch ein erhöhtes Risiko für Pseudarthrosen und eine postoperative Ausbildung einer Kyphose. Zudem erzielten Patienten mit zusätzlicher Fusion im Gegensatz zu jenen mit einfacher Nukleotomie eine direkt postoperative Schmerzreduktion (Oktenoglu et al. 2007).

2.6.5. Ventrale Platten-Schrauben-Spondylodese

Zur Fixierung des eingebrachten Materials (autologer Knochenspan, Cage) eignet sich eine ventrale Platten-Schrauben-Spondylodese. Die in dieser Studie verwendeten Materialien der Firma Signus sind aus Titan und bieten eine hohe Festigkeit sowie Korrosions- und Temperaturbeständigkeit. Titan besitzt eine ausgezeichnete Osseointegration und erlaubt somit eine schnelle und stabile Spondylodese der benachbarten Wirbelkörper. Einen weiteren Vorteil bietet Titan dadurch, dass kaum Abstoßungsreaktionen bekannt sind (Rao et al. 2014).

Es können sowohl stabile als auch variable Systeme verwendet werden. Besonders bei traumatischen Veränderungen eignen sich die stabilen, während bei degenerativen Prozessen variable Systeme zum Einsatz kommen. Diese Variabilität



ermöglicht Mikrobewegungen, die eine schnellere Ossifikation der benachbarten Wirbelkörper herbeiführen sollen. Zur Befestigung der Platten an den Wirbelkörpern eignen sich Spreizdübelschrauben. Unter Röntgenkontrolle wird das Spondylodesematerial sowohl optimal an die HWS-Lordose angepasst als auch auf den regelrechten Sitz überprüft (König und Spetzger 2014). In Abbildung 12 ist eine ventrale Platten-Schrauben-Spondylodese HWK 4 auf HWK 6 mit Interposition eines Knochenspans dargestellt. Es zeigt sich eine komplette knöcherne Durchbauung der Segmente HWK 4 auf 6.

Abbildung 12 – ventrale Platten-Schrauben-Spondylodese C4-6, 3 Jahre postoperativ, P. L., 28-jähriger Patient, laterales Röntgenbild

2.6.6. Zervikale Bandscheibenprothese

Nach dem gleichen operativen anterolateralen Zugangsweg erfolgt auch beim zervikalen Bandscheiben-Ersatz die Freiräumung des Bandscheibenfaches und Myelon komprimierender Strukturen. Anschließend wird eine Probe-Prothese unter Röntgenkontrolle in den Zwischenwirbelraum eingebracht und auf ihren regelrechten Sitz überprüft. Die Ausrichtung sollte anhand der Procc. uncinati erfolgen. Diese sollten erhalten bleiben um der lateral verlaufenden A. vertebralis im Foramen transversarium einen Schutz zu bieten. Letztendlich kann die definitive Prothese

eingesetzt werden. Im Folgenden werden die in dieser Studienpopulation verwendeten Prothesentypen „ProDisc® C“ und „ROTAIO®“ vorgestellt.

ROTAIO®

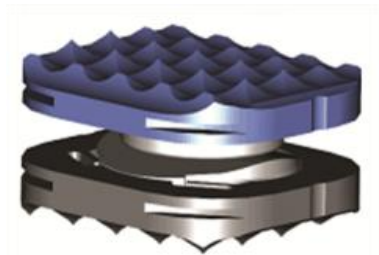


Abbildung 13 – ROTAIO® Bandscheibenprothese (Signus Medizintechnik (2015))

Das ROTAIO® System der Firma Signus bietet eine zervikale Bandscheibenprothese (Abb. 13), die durch ein variables Rotationszentrum die natürliche facettengeführte Bewegung einer gesunden Bandscheibe nachvollziehen kann. Auf ihren Oberflächen besitzt die Prothese eine Zahnung, die eine hohe Primärstabilität ohne Kiehlpräparation bietet (Signus Medizintechnik 2015).

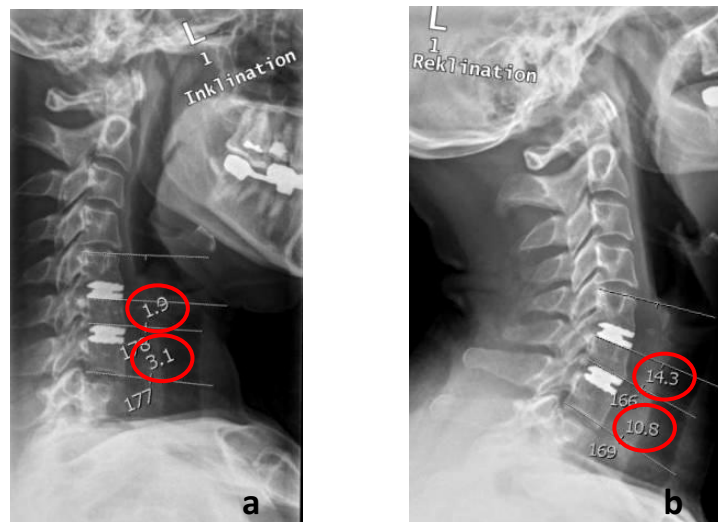


Abbildung 14 – bisegmentale Implantation von ROTAIO® Bandscheibenprothesen C5/6, C6/7, B.F., 46-jährige Patientin, laterale Röntgenbilder, a) ROM bei Inkliniation, b) ROM bei Reklination

In Abbildung 14 ist der postoperative Röntgenbefund der Implantation von 2 ROTAIO® Prothesen in Höhe C5/6 und C6/7 dargestellt. Die Bestimmung der Differenz von Inkliniation und Reklination beträgt im Segment C5/6 12,4° und in C 6/7 7,7°. Damit bleibt annähernd die physiologische Flexions- und Extensionsbeweglichkeit der HWS-Segmente erhalten (vgl. Tab 1).

ProDisc® C



Abbildung 15 – ProDisc® C Bandscheibenprothese (DePuy Synthes Spine (2013))

Die ProDisc® C Prothese (Abb. 15) der Firma Synthes besteht aus 2 Kobalt-Chrom-Molybdän-Platten mit einer Titanbeschichtung, die das Einwachsen in den Wirbelkörper beschleunigen soll. Ein zusätzlicher Polyethylen-Kern soll im Sinne eines Kugelgelenkes die physiologische Beweglichkeit der Wirbelsäule aufrecht erhalten. An den Oberflächen besitzt die Prothese jeweils einen Kiel, der der Verankerung in den Wirbelkörper dient (Nabhan et al. 2007b).

Puttlitz et al. (2004) konnten an humanen Leichenpräparaten mit dem „ball-and-socket cervical intervertebral disc prosthesis design“ eine normale segmentale Beweglichkeit der Wirbelsegmente C4/5 nach Implantation der ProDisc® C nachweisen. Gute klinische Ergebnisse wurden in Studien von Nabhan et al. (2007b) und Bertagnoli et al. (2005) durch postoperative Reduktion von neurologischen Defiziten sowie verringerten Nacken-Schulter-Arm Schmerzen bestätigt.

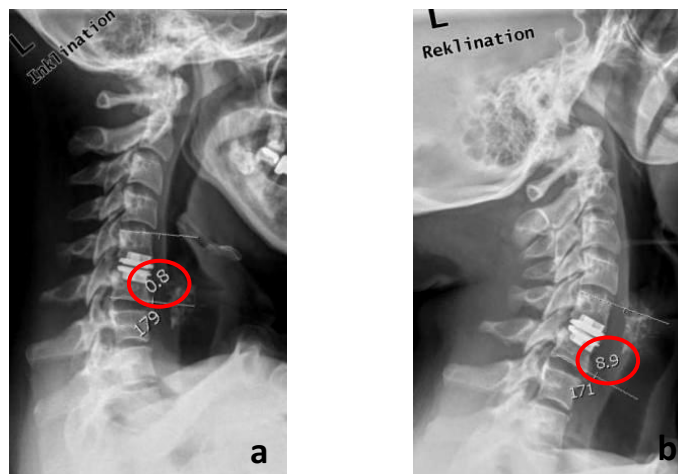


Abbildung 16 – monosegmentale Implantation der ProDisc® C Bandscheibenprothese C5/6, E. K., 39-jährige Patientin, laterale Röntgenbilder, a) Inklinations, b) Reklination

Die ProDisc® C Prothese zeigt auch 5 Jahre nach Implantation in Höhe C5/6 (Abb. 16) eine Winkeldifferenz zwischen Inklinations und Reklination von 8,1° und liegt somit nahe der physiologischen Bewegung dieses Segmentes (vgl. Tab 1).

3 Ziele der Arbeit

3.1. Fragestellung und Ziele

In der Vergangenheit konnte gezeigt werden, dass durch Spondylodese eine Linderung von Schmerzen und neurologischen Symptomen erzielt werden konnte. Allerdings kommt es ebenso zu einer Verminderung der physiologischen Beweglichkeit mit daraus resultierenden beschleunigten Degenerationen in den sich kranial und kaudal anschließenden Segmenten.

Basierend auf diesen Grundlagen ergibt sich die Frage, ob die Bandscheibenprothese als alternative Behandlungsmethode im Vergleich zur ventralen Spondylodese nicht die bessere Behandlungsmöglichkeit darstellt.

Ziel ist es, den radiologischen Degenerationszustand in den Anschlusssegmenten im zeitlichen Verlauf für die unterschiedlichen Operationstypen zu definieren und miteinander ins Verhältnis zu setzen. Ebenso sollen die klinischen Aspekte analysiert werden, um einen Vergleich zwischen den Verfahren herzustellen.

3.2. Hypothesen

Durch die operative Versorgung der Halswirbelsäule mit einer zervikalen Bandscheibenprothese bleibt deren physiologische Bewegung erhalten. Hieraus resultiert eine verminderte Degeneration der angrenzenden Wirbelsäulensegmente im Vergleich zur ventralen Platten-Schrauben-Spondylodese.

- Das Wachstum von Osteophyten bzw. die Zunahme der Osteophytengröße zeigt sich in den Anschlusssegmenten einer zervikalen Bandscheibenprothese geringer als bei einer ventralen Spondylodese.
- Die Höhenminderung der benachbarten Zwischenwirbelräume fällt bei Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese geringer aus als bei jenen mit ventraler Spondylodese.
- In den Anschlusssegmenten der Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese liegt eine geringere Rate an Neuverkalkungen des Lig. longitudinale anterius vor als bei Patienten mit ventraler Spondylodese.
- Als radiologisches Zeichen der segmentalen Degeneration von benachbarten Wirbelsegmenten zeigt sich in den Patientengruppen mit zervikaler

Bandscheibenprothese ein niedrigerer – für diese Studie modifizierter – McAfee Score Wert als bei jenen mit ventraler Spondylodese.

- Klinisch zeigen sich bei den Patienten mit einer zervikalen Bandscheibenprothese ähnlich gute oder bessere Ergebnisse hinsichtlich der Schmerzen, Zervikobrachialgien und Sensibilitätsstörungen im Vergleich zu Patienten mit einer ventralen Spondylodese.

4. Material und Methoden

4.1. Patientenanzahl und -auswahl

In diese Studie wurden 63 Patienten eingeschlossen, die im BG Klinikum Bergmannstrost Halle im Zentrum für Rückenmarkverletzte und Klinik für Orthopädie zwischen Januar 2002 und Dezember 2011 an den Wirbelkörpersegmenten C3 bis C7 operiert wurden und entweder eine ventrale Platten-Schrauben-Spondylodese oder ein zervikales Prothesenimplantat des Typs ProDisc® C oder ROTAIO® erhielten (Tab. 3).

Tabelle 3 – Übersicht der Anzahl der Patienten in den jeweiligen Studiengruppen

| | Zervikale Bandscheibenprothese | | Platten-Schrauben-Spondylodese | | gesamt |
|------------------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|------------|-----------|
| | 1 Segment | 2 Segmente | 1 Segment | 2 Segmente | |
| Patientenanzahl | 21 | 7 | 16 | 19 | 63 |

Unter den 28 mit einer zervikalen Bandscheibenprothese versorgten Patienten sind 23 mit dem ProDisc® C und 5 mit dem ROTAIO® System versorgt worden. Das ROTAIO® System wurde erst 2011 im BG Klinikum Bergmannstrost Halle etabliert, sodass nur bei 5 Patienten eine prospektive Erhebung aufgrund eines möglichst frühen Operationsdatums und damit ausreichend langem Nachkontrollzeitraum erfolgen konnte. Die 23 Patienten mit dem ProDisc® C Implantat wurden zwischen Januar 2005 und Dezember 2011 operativ versorgt und konnten retrospektiv anhand vorhandener Dokumente und Röntgenbilder über einen Zeitraum von mindestens 5 Jahren evaluiert werden.

Für die ventrale Platten-Schrauben-Spondylodese konnten 35 Patienten, die zwischen Januar 2002 und Dezember 2011 im BG Klinikum Bergmannstrost Halle operativ versorgt wurden, retrospektiv analysiert und in die Studie eingeschlossen werden. Von diesen 35 Patienten mit ventraler Spondylodese, zeigten 25 eine traumatische und 10 eine degenerative Genese, die zur operativen Versorgung führte. Bei den Traumata handelte es sich um Frakturen, Luxations- und Distorsionsverletzungen. Auch hier liegt eine ausreichende Nachkontrollzeit von mindestens 5 Jahren postoperativ vor.

Über das interne Krankenhausinformationssystem (ORBIS) des Klinikums BG Bergmannstrost Halle wurden anhand der Operationsschlüssel (OPS 5-83b.30/31 – ventrale Platten-Schrauben-Spondylodese, 5-839-1 Implantation einer zervikalen Bandscheibenprothese) die Patienten ausgewählt, die zwischen Januar 2002 und Dezember 2011 operiert wurden. Im Anschluss erfolgte die retrospektive Sichtung der vorhandenen postoperativen Röntgenbilder und der ärztlichen Dokumentationen. Hierbei konnten nur Patienten mit vollständig vorhandenen konventionellen Röntgenbildern und Untersuchungsdokumentationen eingeschlossen werden. Patienten mit ROTAIO® Prothesenversorgung wurden aufgrund des zeitnahen Operationsdatums zu den jeweiligen Nachkontrolluntersuchungen eingeladen (s. Anhang III). Radiologische Untersuchungen wurden nur bei vorliegender medizinischer Indikation durchgeführt. Alle Patienten, die regelmäßig zu den Nachkontrollen erschienen, wurden in die Studie eingeschlossen, sodass sich eine Studienpopulation von 63 Patienten bildete. Weitere Ein- und Ausschlusskriterien sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4 – Ein- und Ausschlusskriterien für die Studie

| Einschlusskriterien | Ausschlusskriterien |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • HWS Operation zwischen Januar 2002 und Dezember 2011 • Mono- oder bisegmentale Implantation einer zervikalen Bandscheibenprothese oder ventrale Platten-Schrauben-Spondylodese C3/4 – C6/7 • Regelmäßiges Erscheinen zu den Nachkontrollen (6, 12, 24, 36 – 48, 60 Monate postoperativ) • Vorhandene Röntgenaufnahmen mit optimaler Abbildung der Anschlusssegmente • Einwilligung des Patienten (s. Anhang IV) | <ul style="list-style-type: none"> • Multisegmentale HWS Operationen • multisegmentale Degenerationen in der gesamten HWS • Systemische Skeletterkrankungen wie z.B. Morbus Bechterew, Morbus Scheuermann • Maligne Knochenerkrankungen • Ablehnung der Einwilligung |

4.2. Untersuchungen

4.2.1. Radiologische Patientenuntersuchungen

Die Patienten fanden sich für die Nachuntersuchungen selbstständig ein. Die indizierten radiologischen Aufnahmen wurden in 2 Ebenen durchgeführt. In der a.p. Aufnahme wurde darauf geachtet, dass der Patient seinen Mund leicht geöffnet hat um den Dens axis besser beurteilen zu können. In der lateralen Aufnahme wurden die Patienten entweder gebeten ihre Schultern hängen zu lassen oder sie wurden zusätzlich mit Gewichten beschwert um eine Aussage über alle Halswirbelkörper zu treffen. In standardisierter Weise wurde ein Film-Fokus-Abstand von ca. 110 cm für die Aufnahmen der Halswirbelsäulen eingehalten.

Im Kapitel 2.4.5. „Anschlussdegenerationen“ sind die Kriterien, die zur Beurteilung der degenerativen morphologischen Veränderungen in den benachbarten Wirbelsegmenten nach einem operativen Eingriff notwendig sind, ausführlich erläutert. Im Folgenden werden nun die Faktoren und Messvorgänge konkretisiert, die in dieser Studie verwendet wurden. Alle Messungen erfolgten retrospektiv anhand standardisierter Röntgenaufnahmen. Ausgewertet wurden Röntgenbilder, die präoperativ, postoperativ, nach einem halben Jahr, nach einem Jahr, nach 2 Jahren, nach einem Zeitraum von 3 – 4 Jahren und nach 5 Jahren angefertigt worden sind.

a) Osteophytenwachstum

Das Wachstum der Osteophyten wurde jeweils in Bezug zu ihrer Position zu dem operierten Segment bzw. den Segmenten in 8 Messpunkte differenziert (Abb. 17). Im kranialen und kaudalen Anschlusssegment wurde jeweils zwischen anterioren (ventrale Wirbelkante) und posterioren (dorsale Wirbelkante) Osteophyten unterschieden. Des Weiteren entstand eine Einteilung, ob sich der Osteophyt proximal oder distal zur Versorgung befindet. „Proximal“ definierte hierbei den Osteophyten, der sich an der Wirbelkante in Höhe der Grund- bzw. Deckplatte in direkter Nähe zu dem versorgten Segment befand und „distal“ verwies hierbei auf den Osteophyten an den Wirbelkanten der Grund- und Deckplatten des nächst anschließenden Segmentes.

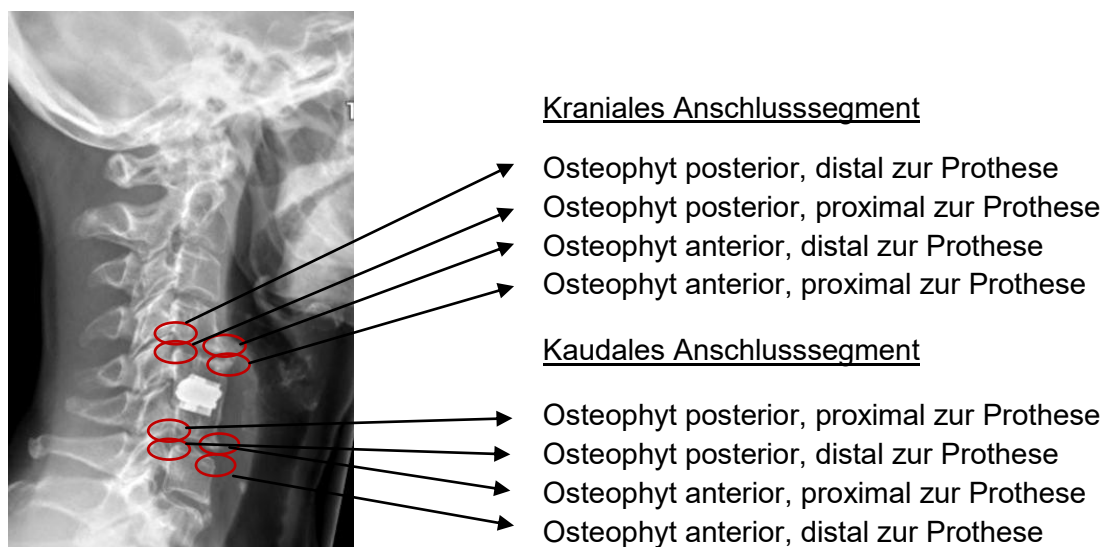


Abbildung 17 – Messpunkte der Osteophyten

Ausgemessen wurde der jeweilige Osteophyt mit Hilfe folgenden Schemas im PACS System des BG Klinikums Bergmannstrost Halle anhand der lateralen Röntgenbilder der HWS. Alle Messungen erfolgten in Millimetern.

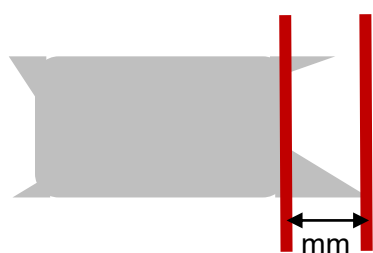


Abbildung 18 – schematische Darstellung der Messung eines Osteophyten

Nach dem Schema in Abbildung 18 wurden die Osteophyten ausgemessen. Durch die ventrale bzw. dorsale Wirbelkörperkante sowie der längsten Ausdehnung des Osteophyten wurde eine vertikale Linie gelegt. Anschließend konnte die Größe des Osteophyten aus dem Abstand der beiden parallelen Linien bestimmt werden. Hierbei wurde darauf geachtet, für die Auswertung im zeitlichen Verlauf immer denselben Ausdehnungspunkt des betrachteten Osteophyten zu verwenden. Für die entstandenen Messwerte wurde jeweils der Differenzwert („Trend“) zum postoperativen Ausgangswert für jeden Untersuchungszeitpunkt bestimmt. Die sich daraus ergeben Mittelwerte für jede Patientengruppe wurden tabellarisch erfasst und grafisch im Vergleich zu den anderen Gruppen dargestellt.

b) Höhenminderung des Zwischenwirbelraumes

In dieser Arbeit wurden der kraniale und kaudale Zwischenwirbelraum, welche sich an das jeweilig operierte Segment anschließen, ausgemessen. Für die Bestimmung der Zwischenwirbelraumhöhe wurde das für den lumbalen Bereich erprobte Schema von Biggemann et al. (1997), welches in Abbildung 19 schematisch dargestellt ist,

angewendet und entsprechend für den zervikalen Wirbelsäulenabschnitt modifiziert. Die Messung erfolgte anhand der lateralen Röntgenbilder mit dem PACS System des BG Klinikums Bergmannstrost Halle.

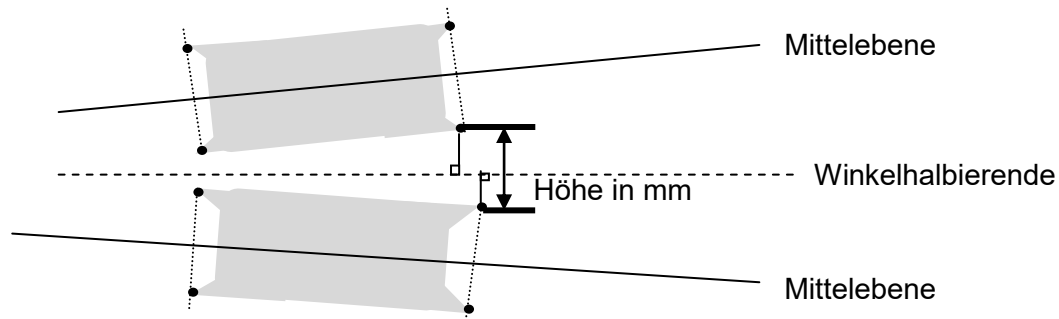


Abbildung 19 – schematische Darstellung der Messung der Höhe der Zwischenwirbelräume in mm

Anfangs wurden die jeweiligen Wirbelkörper Eckpunkte eingezeichnet. Die Mittelpunkte zwischen den ventralen bzw. dorsalen Eckpunkten definieren die Mittlebene eines Wirbelkörpers. Aus den Mittlebenen der benachbarten Wirbelkörper wurde die Winkelhalbierende bestimmt. Zur Winkelhalbierenden hin wurden im rechten Winkel von den jeweiligen Eckpunkten Hilfslinien eingezeichnet. Im rechten Winkel hierzu ergeben sich die horizontalen Messungslinien, deren Abstand die Höhe des Zwischenwirbelraums in Millimetern definiert.

Die so entstandenen Messwerte sind tabellarisch für den Nachuntersuchungszeitraum aufgelistet worden. Daraus wurde ein Differenzwert („Trend“) der Zwischenwirbelraumhöhe im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert ermittelt. Über den Mittelwert der Zwischenwirbelraumhöhe zu den Untersuchungszeitpunkten in der jeweiligen Patientengruppe konnte ein Vergleichswert zwischen den 4 Patientengruppen berechnet und grafisch dargestellt werden.

c) Verkalkung des Lig. longitudinale anterius (ALL)

Anhand der postoperativen lateralen Röntgenbefunde wurde ermittelt, ob das Lig. longitudinale anterius als Zeichen einer Degeneration (s. Kapitel 2.4.5. Anschlussdegenerationen) im Verlauf der Zeit verkalkt ist. Die Werte wurden dichotom mit ja/nein bewertet. Anschließend wurde nach einem Nachuntersuchungszeitraum von 5 Jahren der prozentuale Anteil neu verkalkter Längsbänder nach postoperativ blandem oder saniertem Längsband ermittelt und grafisch für die Gruppen dargestellt.

d) Segmentale Degeneration anhand des McAfee Scores

Als weiteres Kriterium der Degeneration in den operativ mit Bandscheibenprothese versorgten Segmenten sowie den Anschlusssegmenten in allen Gruppen wurde in dieser Studie der McAfee Score zur Klassifikation heterotoper Ossifikation in modifizierter Weise bestimmt (s. Kapitel 2.4.5. Anschlussdegenerationen). Zum einen wurde das Score System wie vom Begründer gedacht (McAfee 2004), auf die operativ mit Prothese versorgten Segmente angewendet und zum anderen zusätzlich auch für die kranialen und kaudalen Anschlusssegmente einer Prothese bzw. einer ventralen Platten-Schrauben-Spondylodese modifiziert verwendet. Eine Anwendung in den fusionierten Segmenten fand nicht statt, da hier eine knöcherne Versteifung des Wirbelsegmentes das Therapieziel darstellt. Die so entstandenen Punktwerte zwischen 0 – 5 wurden tabellarisch für jede Gruppe erfasst und davon ausgehend, dass es sich um eine Ordinalverteilung handelt, konnten die Mittelwerte berechnet und grafisch dargestellt werden. 2 Patienten mit einem Score Wert von 6 in einem Anschlusssegment, was einer operativen Versteifung dieses Segmentes entspricht, wurden für die Bewertung des McAfee Scores aus den Analysen herausgenommen um die Werte nicht fälschlicherweise zu verschlechtern.

4.2.2. Klinische Patientenangaben

a) Beurteilung des subjektiven Schmerzempfindens

Anhand der dokumentierten Patientenuntersuchungen zu den Nachuntersuchungszeitpunkten konnte retrospektiv jeweils das subjektive Schmerzempfinden der Patienten ermittelt werden. Ebenfalls basierend auf der Grundlage, dass es sich um eine Ordinalverteilung handelt, konnten anschließend für die einzelnen Patientengruppen die Mittelwerte für jeden Zeitpunkt errechnet und grafisch im Verhältnis zu den anderen Patientengruppen dargestellt werden.

b) Zervikobrachialgien

Ein weiteres wichtiges diagnostisches Kriterium sind die Zervikobrachialgien. Dabei handelt es sich um die durch Spinalwurzelirritation im Foramen intervertebralia entstehenden in den Arm ausstrahlenden Schmerzen. Anhand der Patientenakten konnte aus den Nachkontrolluntersuchungen jeweils herausgefiltert werden, ob die Patienten zum Untersuchungszeitpunkt unter einer Zervikobrachialgie litten.

Die Werte wurden dichotom mit ja/nein bewertet. Anschließend wurde der prozentuale Anteil der Patienten in einer Gruppe mit einer Zervikobrachialgie prä- und postoperativ sowie nach 3 - 5 Jahren ermittelt und grafisch im Zeitverlauf dargestellt.

c) Sensibilitätsstörungen

Ebenfalls anhand der Patientenakten konnten Sensibilitätsstörungen der Patienten ermittelt werden. Hierbei wurde ein kategoriales System mit 3 Antwortmöglichkeiten angewendet. Die 3 Kategorien waren:

- 0 Keine Sensibilitätsstörungen
- 1 Dysästhesien
- 2 Taubheitsgefühle

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden allen Dysästhesien und Taubheitsgefühle zu dem Outcome „Sensibilitätsstörungen“ zusammengefasst. Unter Dysästhesien werden hierbei alle Kribbelparästhesien, Hypästhesien und Missempfindungen in einem Dermatom verstanden.

In jeder Patientengruppe wurde der prozentuale Anteil der jeweiligen Kategorie prä- und postoperativ sowie nach 3 – 5 Jahren ermittelt. Die prozentualen Anteile konnten anschließend grafisch miteinander ins Verhältnis gesetzt werden.

4.3. Datenverarbeitung und statistische Auswertung

Die deskriptive statistische Auswertung erfolgte mittels Microsoft EXCEL® für Windows 7 (Microsoft Corporation, USA). Die Daten wurden nach der Messung tabellarisch erfasst. Hieraus konnten für die jeweiligen Patientengruppen die arithmetischen Mittelwerte bzw. prozentualen Häufigkeiten berechnet und grafisch dargestellt werden.

Zur Überprüfung der statistischen Signifikanzwerte erfolgte die analytische statistische Auswertung mit dem Datenverarbeitungsprogramm IBM® SPSS® Statistics Version 23 für Windows 7 (SPSS Deutschland GmbH, München, Deutschland). Die Berechnungen wurden mit Hilfe des Institutes für Medizinische Statistik, Informatik und Dokumentation des Universitätsklinikum Jena durchgeführt.

Die statistische Analyse der Unterschiede in der Wahrscheinlichkeitsverteilung in den 4 unabhängigen Gruppen erfolgte mit dem nicht parametrischen Kruskal-Wallis-Test. Als Prüfgröße des Kruskal-Wallis-Tests wird ein sogenannter H-Wert berechnet. Ist der errechnete H-Wert größer als der H-Wert aus der Chi-Quadrat-Tabelle, wird die Nullhypothese verworfen und es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (Kruskal und Wallis 1952). Bei sich ergebenden signifikanten Werten wurden jeweils 2 Gruppen (z.B. Gruppe 1 mit Gruppe 2, Gruppe 1 mit Gruppe 3, ...) erneut anhand des U-Test nach Mann-Whitney miteinander ins Verhältnis gesetzt. Dieses erfolgte für alle möglichen Gruppenkombinationen. Die entsprechenden Tabellen für die Berechnungen der p-Werte zwischen den Gruppen sind dem Anhang V zu entnehmen. P-Werte von $p < 0,05$ wurden als signifikant angesehen (Rinne 2003).

Zur Berechnung der Signifikanz prozentualer Häufigkeiten wurden ebenfalls mit SPSS® Kreuztabellen erstellt, welche anschließend mit dem Chi-Quadrat-Test nach Pearson analysiert wurden. Auch hier gilt ein p-Wert von $p < 0,05$ als signifikant. Bei sich ergebenden signifikanten Werten wurden jeweils 2 Gruppen erneut mithilfe des Chi-Quadrat-Tests miteinander ins Verhältnis gesetzt. Dieses erfolgte auch hier für alle möglichen Gruppenkombinationen. Die entsprechenden Tabellen für die Berechnung der p-Werte zwischen den Gruppen sind ebenfalls dem Anhang V zu entnehmen.

5. Ergebnisse

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Patienten entsprechend ihrer operativen Versorgung in 4 Gruppen eingeteilt. Die farbliche Gestaltung der Gruppen wurde für jede Grafik eingehalten.

- Gruppe 1 – 1 Segment zervikale Bandscheibenprothese
- Gruppe 2 – 2 Segmente zervikale Bandscheibenprothese
- Gruppe 3 – 1 Segment Platten-Schrauben-Spondylodese
- Gruppe 4 – 2 Segmente Platten-Schrauben-Spondylodese

5.1. Anzahl der Patienten

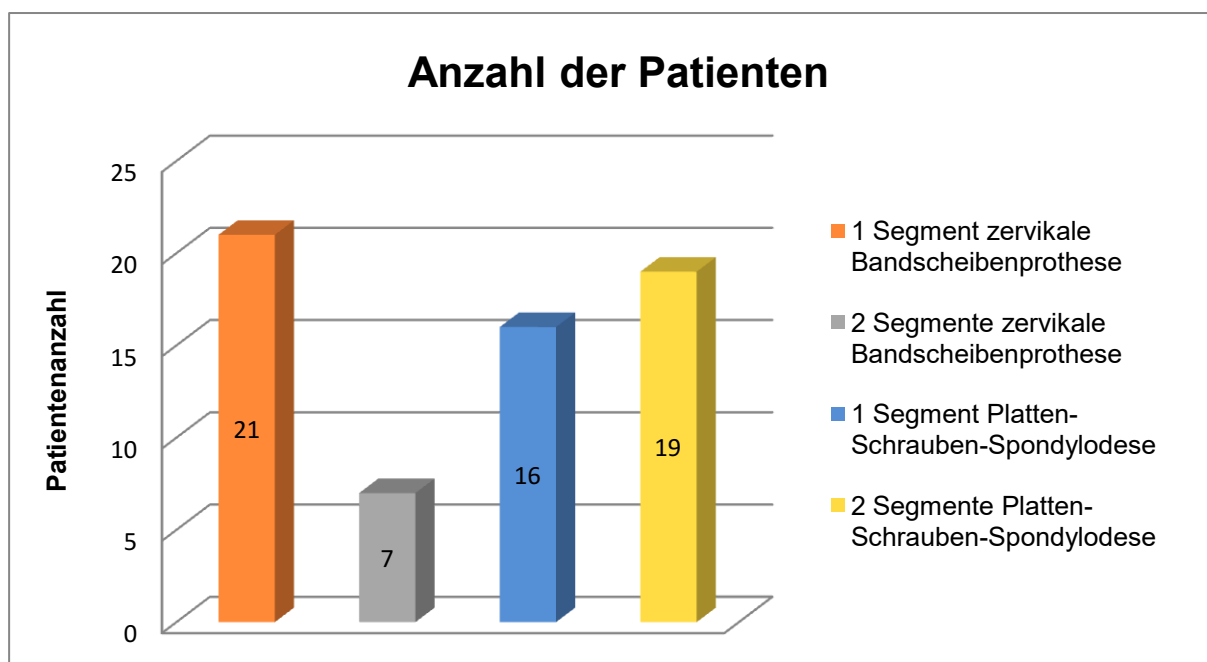


Abbildung 20 – Anzahl der Patienten getrennt nach der Methode der operativen Versorgung, Gesamtanzahl 63 Patienten

Die Studienpopulation von 63 Patienten verteilte sich wie in Abbildung 20 dargestellt auf die 4 verschiedenen operativen Interventionen. Alle 28 Patienten mit Implantation von mono- oder bisegmentalen Bandscheibenprothesen wurden aufgrund einer degenerativen HWS-Symptomatik versorgt. Unter den 35 Patienten mit ventraler mono- oder bisegmentaler Spondylodese befinden sich 25 Patienten mit traumatischer und 10 Patienten mit degenerativer Ursache der operativen Therapie.

5.2. Geschlechterverteilung

Weibliche und männliche Patienten der Studie verteilen sich wie in Abbildung 21 dargestellt, auf die 4 Gruppen der operativen Interventionen. In den einzelnen Gruppen fanden sich fast doppelt so viele männliche wie weibliche Personen. Eine Ausnahme bildete die Gruppe mit bisegmentaler zervikaler Bandscheibenprothese, da sich hier in etwa gleich viele Männer wie Frauen befanden.

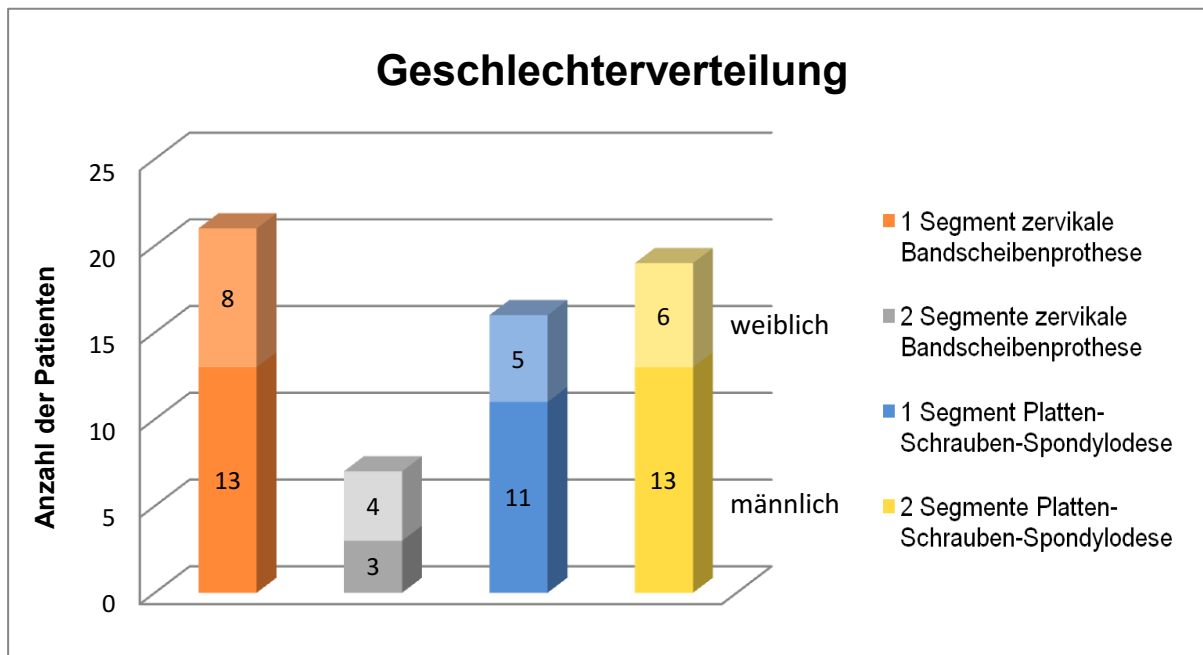


Abbildung 21 – Anzahl weiblicher (heller Balkenanteil) und männlicher (dunkler Balkenanteil) Patienten getrennt nach der Methode der operativen Versorgung, Gesamtanzahl: 23 weibliche Patienten, 40 männliche Patienten

5.3. Alter zum Operationszeitpunkt

Wie in Abbildung 22 dargestellt ist, bildeten die Patienten mit monosegmentaler zervikaler Bandscheibenprothese mit einem Durchschnittsalter von 50 Jahren zum Operationszeitpunkt die älteste Gruppe. Das jüngste Durchschnittsalter bildete die Gruppe mit bisegmentaler ventraler Platten-Schrauben-Spondylodese. Hier befanden sich auch mit einem Anteil von 79% (15/19 Patienten), die meisten Patienten mit traumatischer Genese der HWS-Symptomatik. In der Gruppe mit monosegmentaler ventraler Spondylodese befanden sich bei einem Durchschnittsalter von 47 Jahren zum Operationszeitpunkt, 62,5% der Patienten (10/16) mit traumatischer Genese der HWS-Symptomatik.

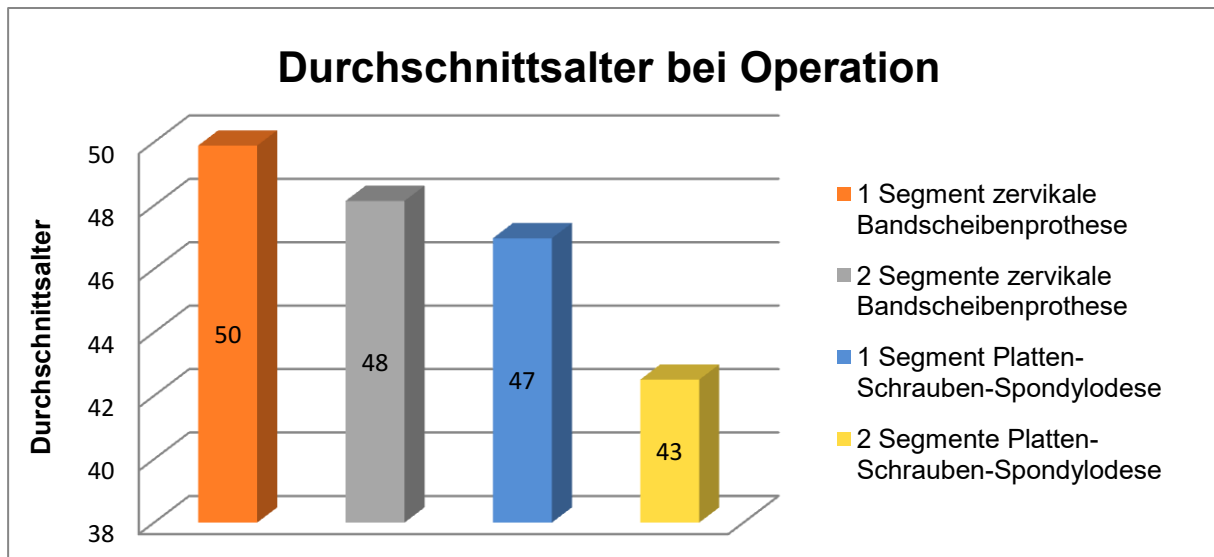


Abbildung 22 – Durchschnittsalter der Patienten zum Operationszeitpunkt getrennt nach der Methode der operativen Versorgung, Gesamtdurchschnittsalter 47 Jahre

5.4. Übersicht über die operativ versorgten Segmente

Bei den Patienten fanden die operativen Interventionen in den Segmenten C3/4, C4/5, C5/6 und C6/7 statt. Insgesamt ergaben sich durch mono- und bisegmentale Indikationsstellung 89 Segmente, die operativ versorgt wurden. Mit 36 Versorgungen zeigte sich am häufigsten das Segment C5/6 betroffen. In Abbildung 23 ist die Verteilung der operativ versorgten Segmente in den jeweiligen Gruppen aufgeschlüsselt.

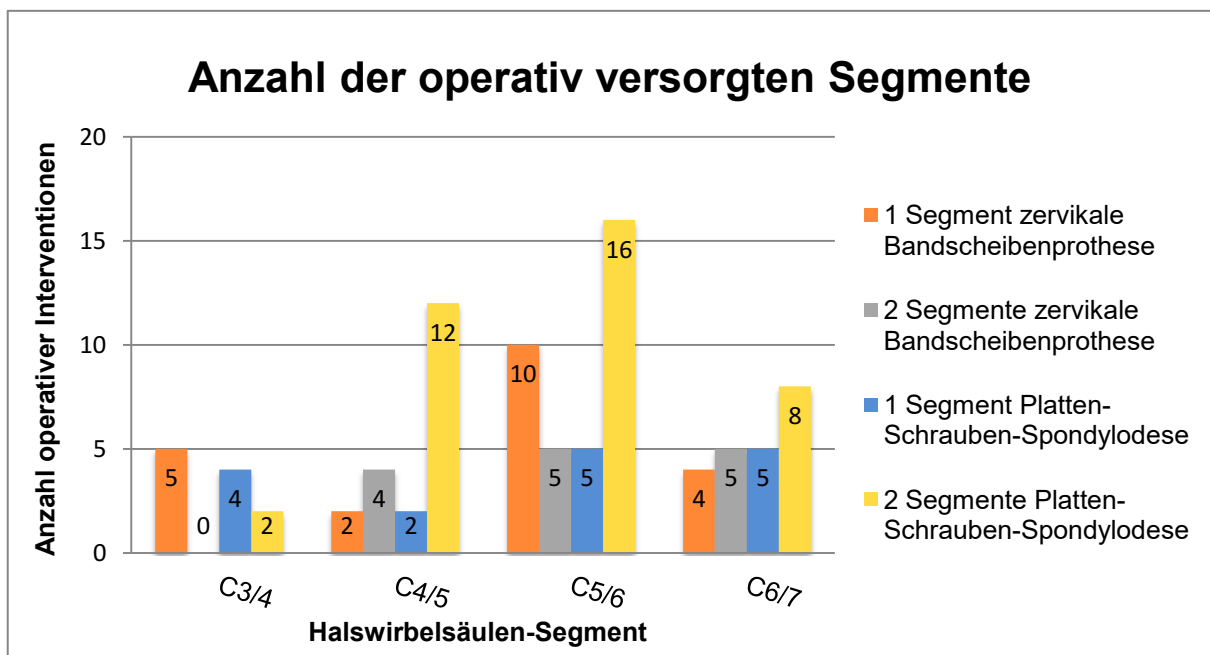


Abbildung 23 – Übersicht über die Anzahl der jeweiligen operativen Intervention getrennt nach HWS-Segment, häufigste Versorgung: C5/6

5.5. Radiologische Ergebnisse

5.5.1. Osteophytenwachstum

a) Kraniales Anschlusssegment

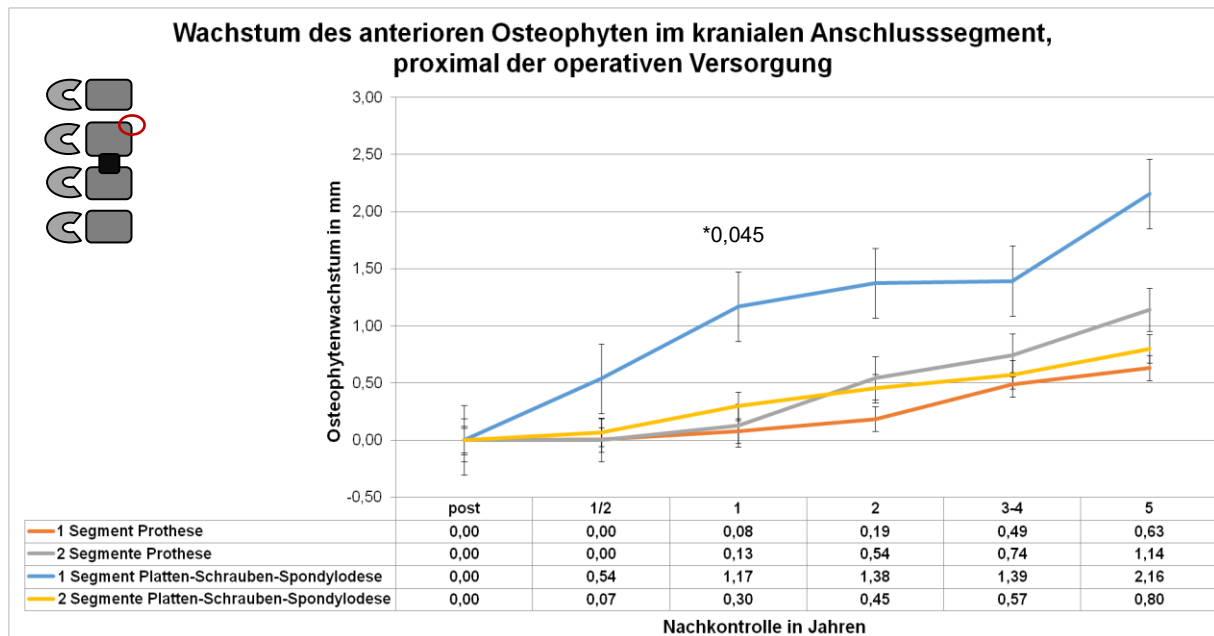


Abbildung 24 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kranialen Anschlusssegment an der anterioren Wirbelkante und proximal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm

Im kranialen Anschlusssegment zeigte sich, dass der Osteophyt an der anterioren Wirbelkante, der sich proximal zum versorgten Segment befand, nach einem Jahr in der Gruppe mit monosegmentaler Platten-Schrauben-Spondylodese mit durchschnittlich 1,17 mm, um 1,09 mm mehr zugenommen hatte als in der Vergleichsgruppe mit monosegmentaler Bandscheibenprothese (Abb. 24). Dieser Wert stellt in den Kreuzanalysen mit einem $p=0,025$ einen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe mit einer monosegmentalen Platten-Schrauben-Spondylodese und der Gruppe mit einer monosegmentalen zervikalen Bandscheibenprothese dar (s. Anhang V, Tab. 1). In den folgenden Jahren zeigte sich eine Zunahme der Differenz bis zu einem 5-Jahres Wert von 1,53 mm Unterschied. Die Osteophyten in den Patientengruppen mit zervikaler Bandscheibenprothese nahmen über 5 Jahre nur sehr langsam um maximale Werte von 0,63 mm in Gruppe 1 und 0,8 mm in Gruppe 2 zu. Die Osteophyten in den Gruppen mit Platten-Schrauben-Spondylodese entwickelten eine Zunahme von 1,14 mm in Gruppe 4 und 2,16 mm in Gruppe 3.

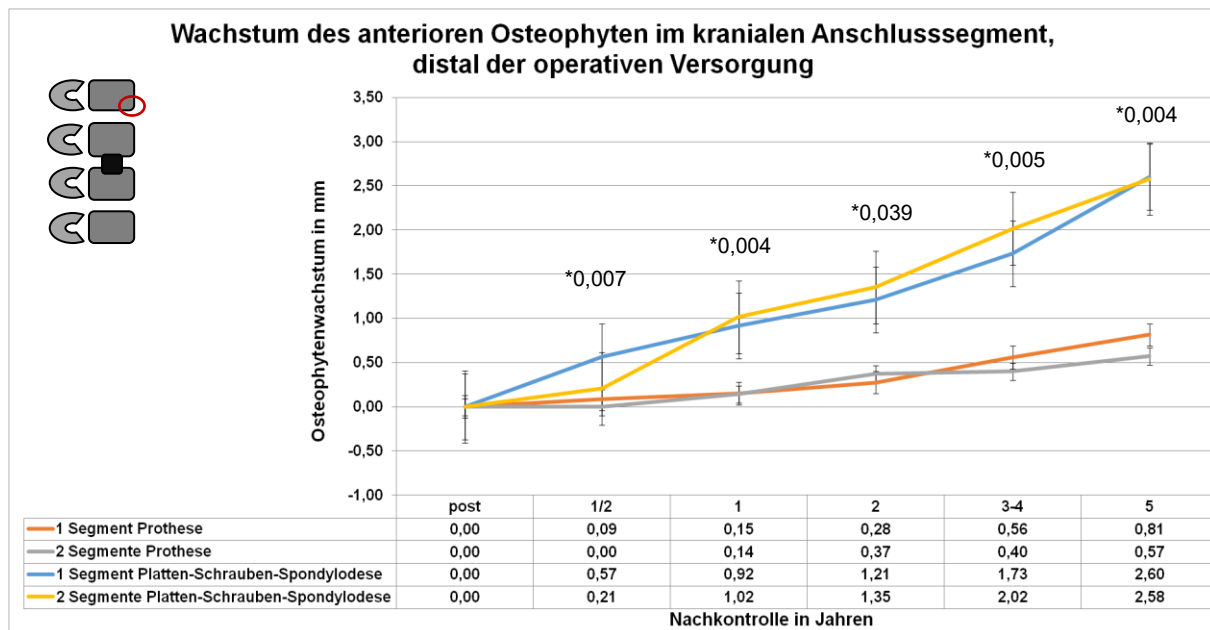


Abbildung 25 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kranialen Anschlusssegment an der anterioren Wirbelkante und distal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm

Zudem ergaben sich im kranialen Anschlusssegment zu jedem Nachuntersuchungszeitpunkt signifikante Unterschiede in Form eines verstärkten Wachstums des anterioren Osteophyten, der sich distal zum versorgten Segment befand, in den Gruppen mit Platten-Schrauben-Spondylodese gegenüber den Gruppen mit zervikaler Bandscheibenprothese (Abb. 25).

Ein halbes Jahr nach der Operation zeigte sich mit einem $p=0,007$ in der Gruppe mit monosegmentaler Spondylodese mit 0,57 mm die größte Zunahme, gefolgt von der Gruppe mit bisegmentaler Fusion mit 0,21 mm.

Ein Jahr postoperativ ergaben sich für mono- ($p=0,004$ und $p=0,028$) und bisegmentale ventrale Platten-Schrauben-Spondylodosen ($p=0,005$ und $p=0,044$) signifikant stärkere Größenzunahmen mit bis zu 0,75 mm im Vergleich zur mono- oder bisegmentalen zervikalen Bandscheibenprothese (s. Anhang V, Tab. 3).

In den Nachuntersuchungen 2 Jahre nach Operation steigt die Differenz zwischen den Größenzunahmen der Osteophyten zwischen Spondylodese und Prothese weiterhin an. Auch hier ergaben die Analysen signifikant höhere Zunahmen der Osteophytengröße in den beiden Gruppen mit Spondylodese (mono- ($p=0,010$), bisegmental ($p=0,018$)) im Vergleich zur monosegmentalen Prothesenversorgung (s. Anhang V, Tab. 4).

Im Zeitraum von 3 bis 4 Jahren nach dem operativen Eingriff hatten sich die Osteophyten in der Gruppe mit monosegmentaler Spondylodese um 1,7 mm und in der Gruppe mit bisegmentaler Spondylodese 2 mm vergrößert. Auch hier liegt eine signifikant stärkere Größenzunahme im Vergleich zur monosegmentalen Prothese vor (mono- ($p=0,008$), bisegmental ($p=0,004$)). Dasselbe gilt für den Vergleich zwischen bisegmentaler Spondylodese und bisegmentaler Prothese mit einem $p=0,023$ (s. Anhang V, Tab. 5).

Nach 5 Jahren erreichten die Osteophyten in den Fusionsgruppen einen Zuwachs von 2,58 mm (Gruppe 4) – 2,6 mm (Gruppe 3) und zeigten somit mit einem $p=0,004$ eine signifikante Wachstumsdifferenz von bis zu 2 mm gegenüber einer zervikalen Prothesenversorgung. Die Kreuzanalyse ergab ein signifikant stärkeres Osteophytenwachstum bei Patienten mit mono- ($p=0,003$ und $p=0,027$) und bisegmentaler Spondylodese ($p=0,012$ und $p=0,019$) im Vergleich zur mono- und bisegmentalen zervikalen Bandscheibenprothese (s. Anhang V, Tab. 6).

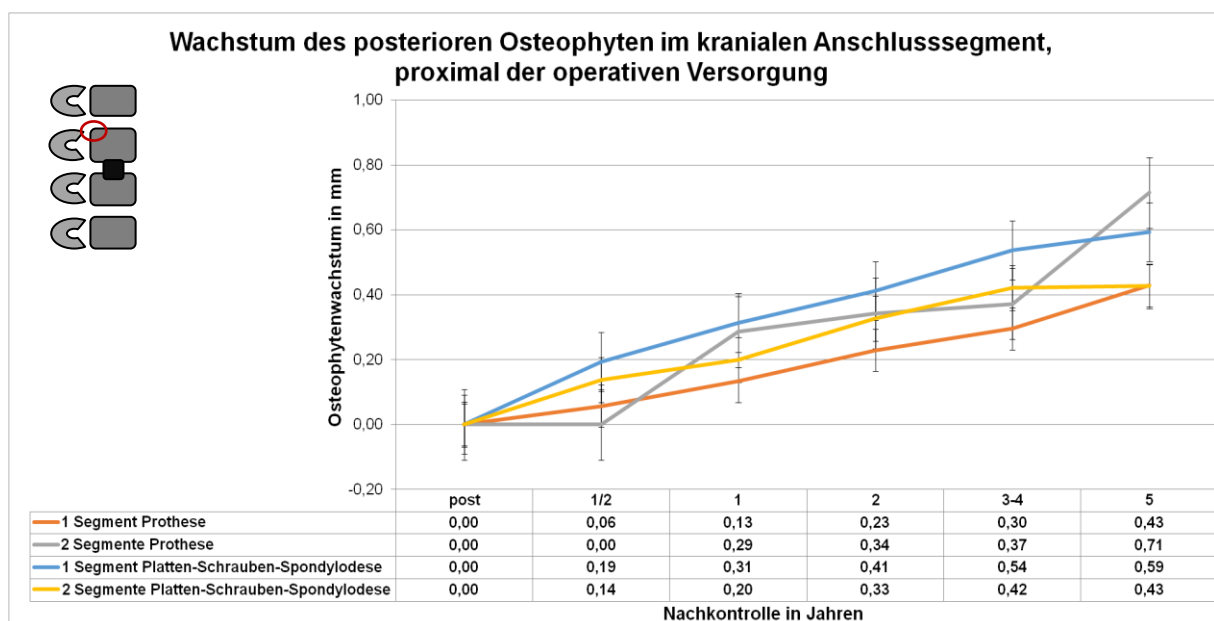


Abbildung 26 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kranialen Anschlusssegment an der posterioren Wirbelkante und proximal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm

Die mittlere Größenzunahme des Osteophyten, welcher sich im kranialen Anschlusssegment an der posterioren Wirbelkante und proximal zum versorgten Segment befindet, zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Abb. 26).

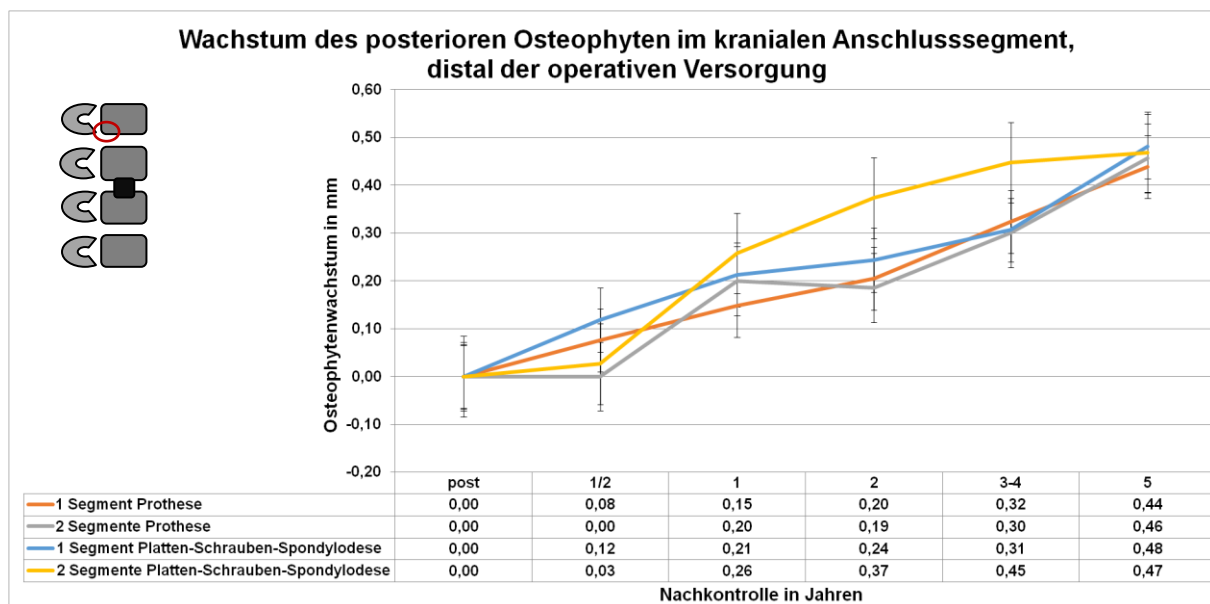


Abbildung 27 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kranialen Anschlusssegment an der posterioren Wirbelkante und distal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm

Die Osteophyten des kranialen Anschlusssegmentes, die sich an der posterioren Wirbelkante und distal zum operierten Segment befinden nahmen in allen Patientengruppen nach 5 Jahren um maximal 0,44 – 0,48 mm zu (Abb. 27). Zwischen den Gruppen konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

b) Kaudales Anschlusssegment

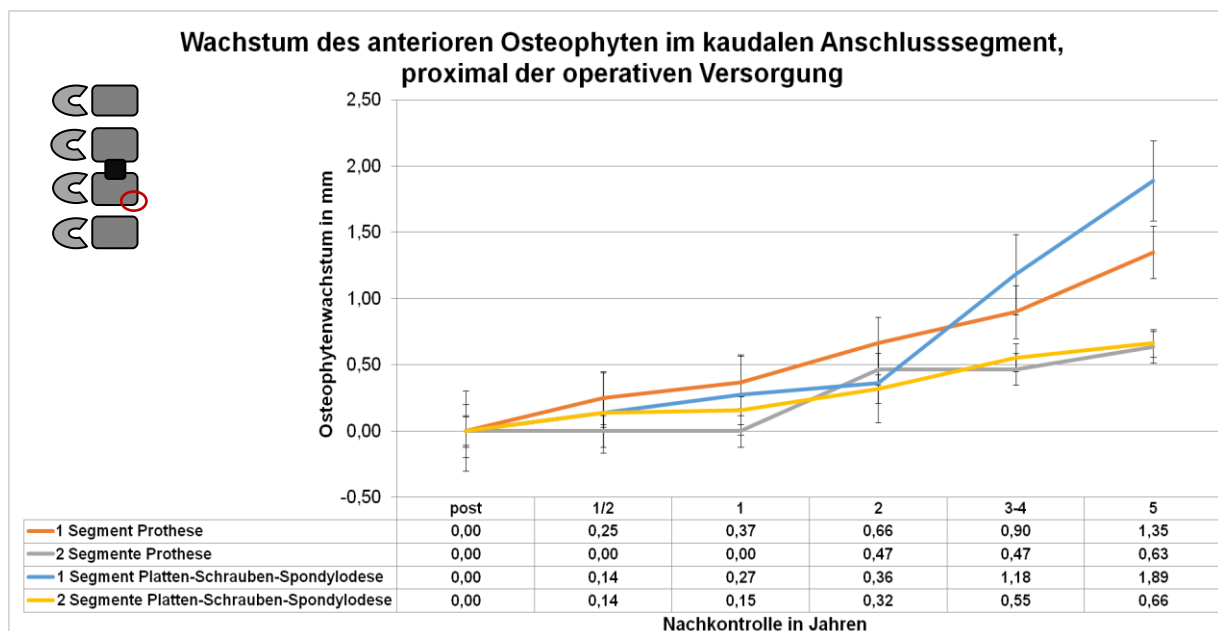


Abbildung 28 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kaudalen Anschlusssegment an der anterioren Wirbelkante und proximal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm

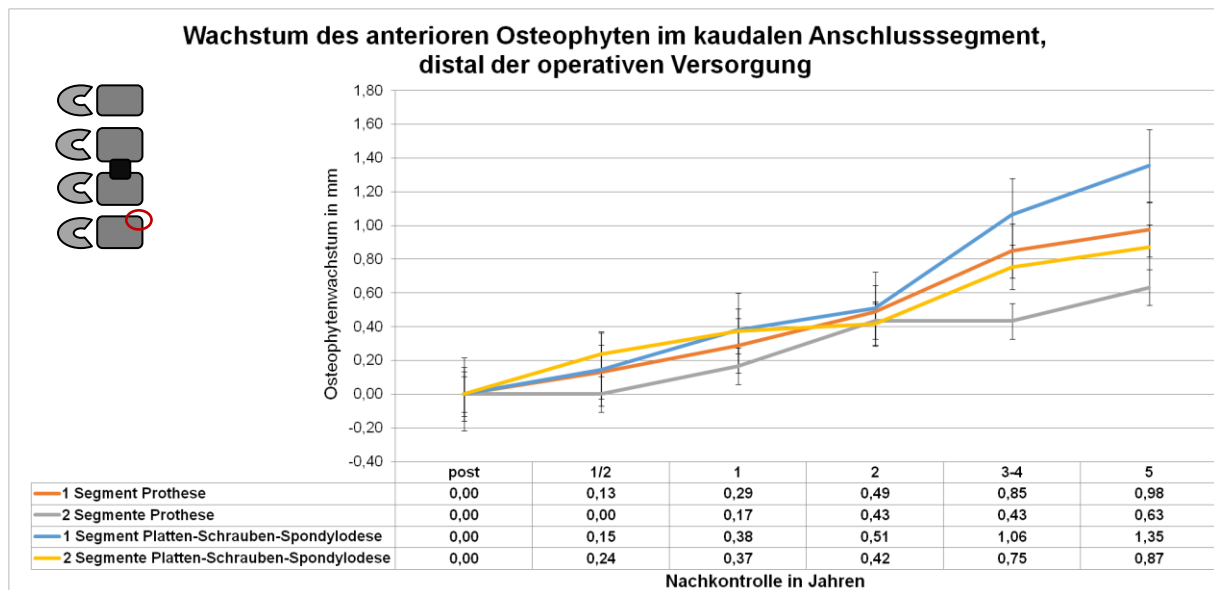


Abbildung 29 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kaudalen Anschlusssegment an der anterioren Wirbelkante und distal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm

Die in Abbildung 28 dargestellten Osteophyten im kaudalen Anschlusssegment, die sich an der anterioren Wirbelkante proximal zum versorgten Segment befinden, zeigten hinsichtlich ihrer Größenentwicklung keine signifikanten Unterschiede. 5 Jahre postoperativ entwickelte sich eine Größenzunahme von 0,61 – 1,89 mm.

Die in Abbildung 29 dargestellten Osteophyten im kaudalen Anschlusssegment, die sich an der anterioren Wirbelkante distal zum versorgten Segment befinden, zeigten hinsichtlich ihrer Größenentwicklung ebenfalls keine signifikanten Unterschiede.

Bei fehlenden signifikanten Unterschieden kristallisierte sich jedoch sowohl bei dem proximal als auch bei dem distal zum operierten Segment gelegenen Osteophyten das stärkste Wachstum bei den Patienten mit monosegmentaler Platten-Schrauben-Spondylodese heraus. 5 Jahre postoperativ erreichte der Osteophyt in proximaler Position bei diesen Patienten einen durchschnittlichen Wert von 1,89 mm und ist damit gegenüber mono- um 0,54 mm und bisegmentaler zervikaler Bandscheibenprothese um 1,36 mm erhöht. Auch gegenüber der bisegmentalen Fusion war der Wert um 1,33 mm erhöht (Abb. 28). Beim distal zum operierten Segment gelegenen Osteophyten zeigten sich ähnliche Werte. Hier erreichte der Osteophyt 5 Jahre postoperativ einen Zuwachs von 1,35 mm und ist damit gegenüber einer monosegmentalen Prothese um 0,37 mm, einer bisegmentalen

prothetischen Versorgung um 0,72 mm und einer bisegmentalen Platten-Schrauben-Spondylodese um 0,48 mm erhöht (Abb. 29).

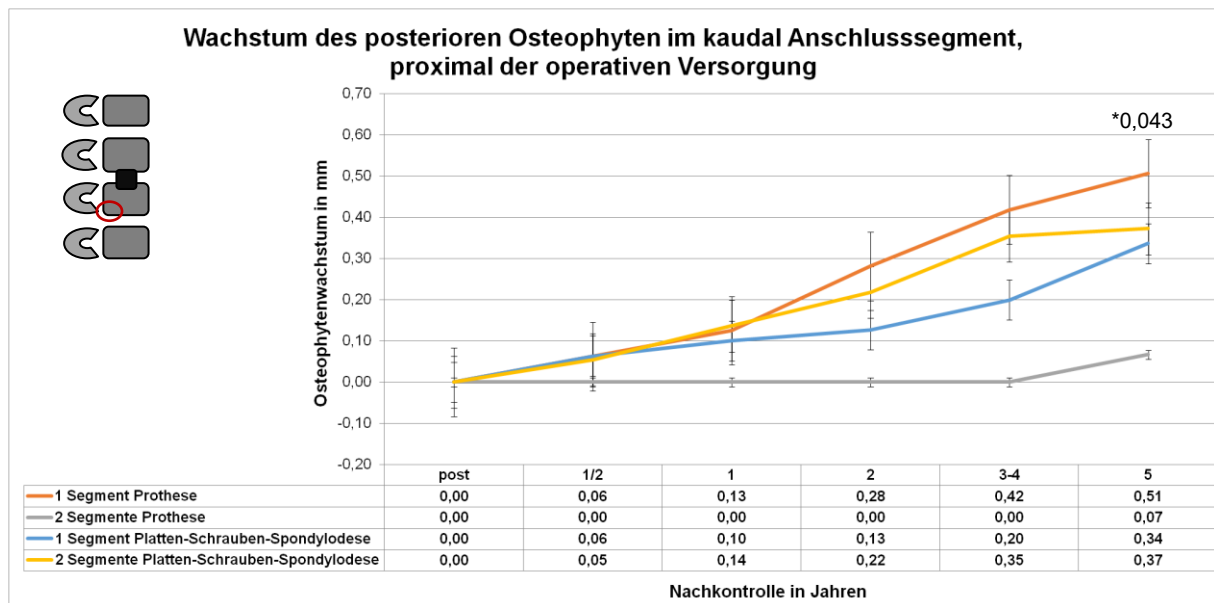


Abbildung 30 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kaudalen Anschlusssegment an der posterioren Wirbelkante und proximal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm

In der grafischen Darstellung des posterioren Osteophyten des kaudalen Anschlusssegmentes, welcher sich proximal zum operierten Segment befindet (Abb. 30), konnte ein signifikant erhöhtes Wachstum 5 Jahre postoperativ für Patienten mit einer zervikalen Bandscheibenprothese identifiziert werden. Eine monosegmentale Bandscheibenprothese zeigte hier nach einem Kontrollzeitraum von 5 Jahren eine Größenzunahme der Osteophyten von 0,51 mm. Die Kreuzanalysen ergaben, dass in dieser Gruppe eine signifikant stärkere durchschnittliche Größenzunahme gegenüber den 0,07 mm bei bisegmentaler Prothesen Versorgung ($p=0,012$) und den 0,37 mm bei bisegmentaler Platten-Schrauben-Spondylodese ($p=0,090$) vorlag (s. Anhang V, Tab. 7).

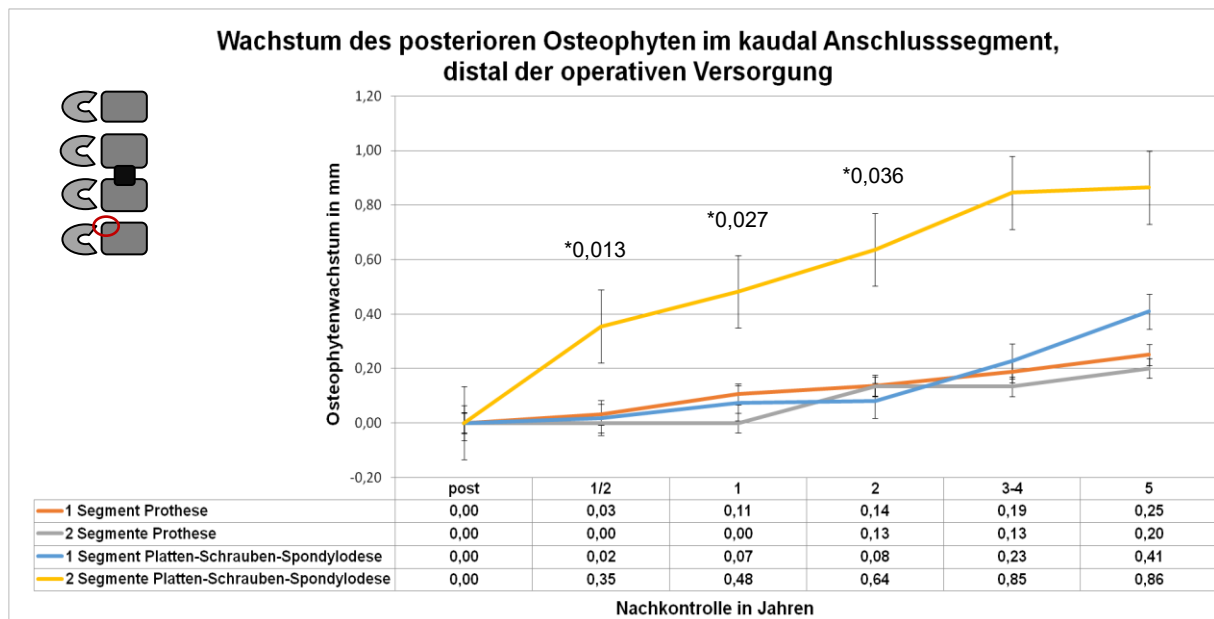


Abbildung 31 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kaudalen Anschlusssegment an der posterioren Wirbelkante und distal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm

Die in Abbildung 31 dargestellte Größenzunahme der im kaudalen Anschlusssegment befindlichen posterioren Osteophyten, die im Bezug zum operierten Segment distal gelegen sind, zeigte sich am stärksten in der Patientengruppe mit bisegmentaler Platten-Schrauben-Spondylodese. Mit einer Größenzunahme von 0,35 mm nach einem halben Jahr ($p=0,013$), 0,48 mm nach einem Jahr ($p=0,027$) und 0,64 mm nach 2 Jahren ($p=0,036$), zeigten sich signifikant erhöhte Werte gegenüber den anderen Patientengruppen. Es ergibt sich 5 Jahre postoperativ eine Wachstumsdifferenz von 0,61 mm zur mono- und 0,66 mm zur bisegmentalen zervikalen Bandscheibenprothese.

5.5.2. Höhenminderung der Zwischenwirbelräume

Die folgenden Grafiken geben einen Überblick über die Mittelwerte der Vermessungen der absoluten Zwischenwirbelraumhöhen sowie über die Minderung dieser Höhe im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert in den Anschlusssegmenten für die einzelnen Patientengruppen.

a) Absolute Zwischenwirbelraumhöhe

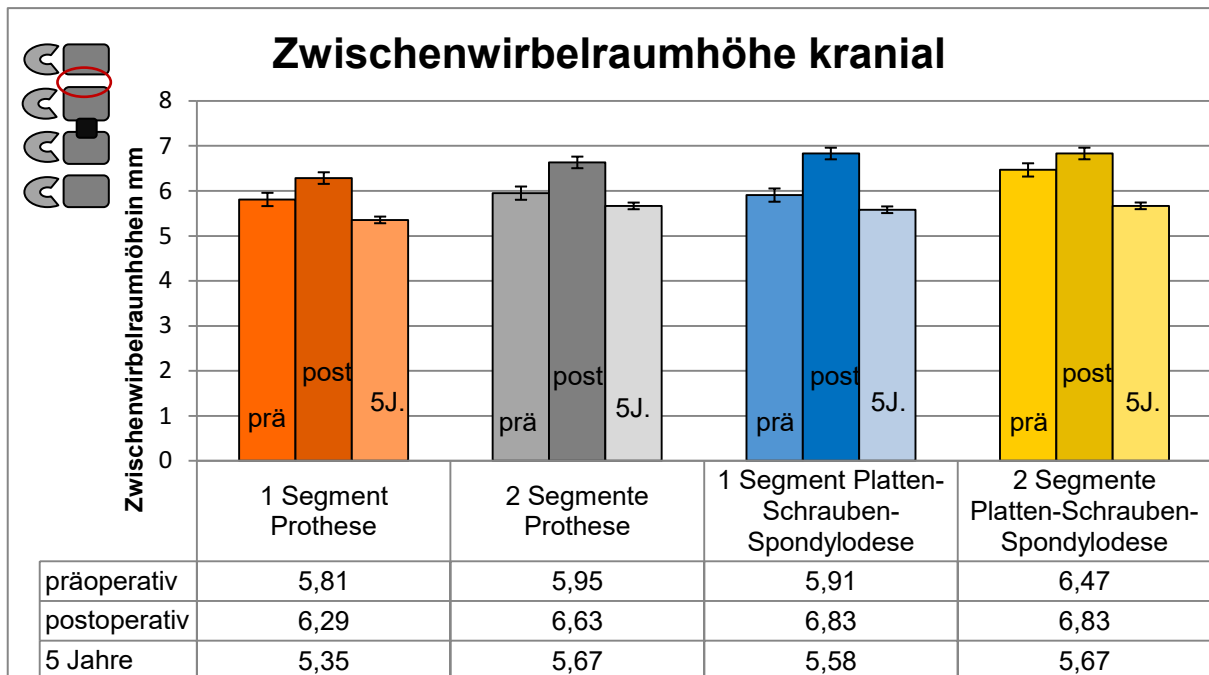


Abbildung 32 – Vergleich der Zwischenwirbelraumhöhe im kranialen Anschlusssegment getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – präoperativ, direkt postoperativ, 5 Jahre postoperativ – absolute Werte in mm

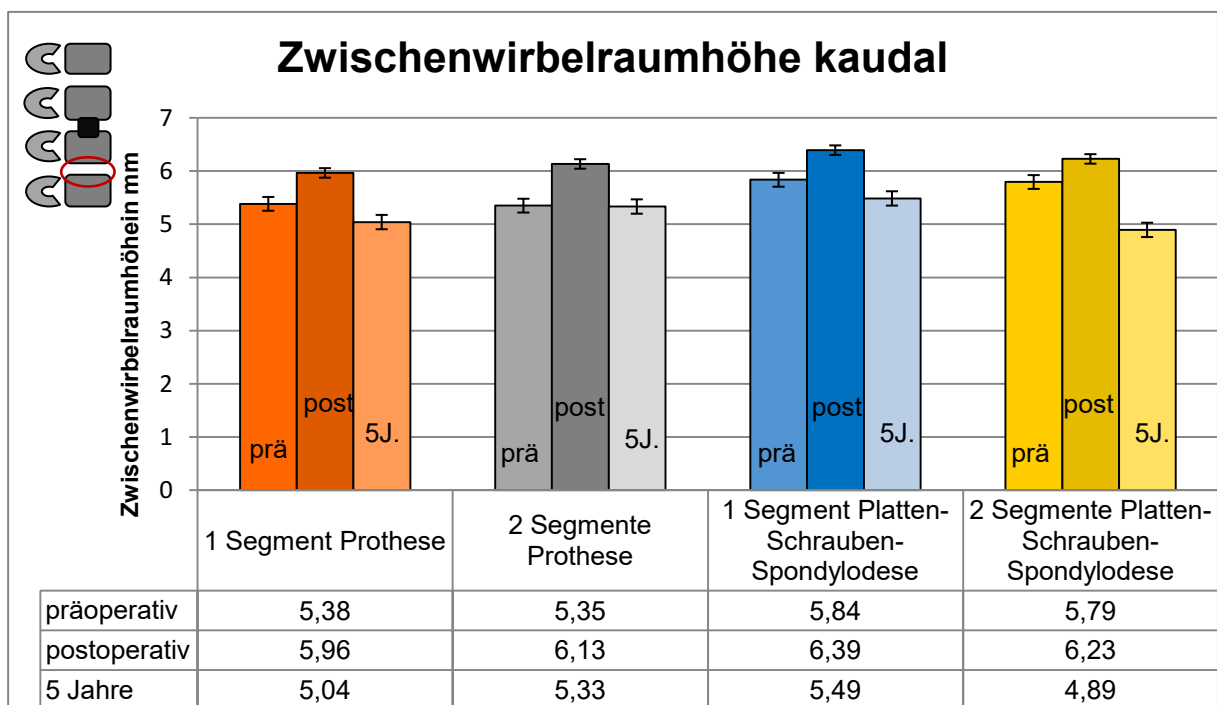


Abbildung 33 – Vergleich der Zwischenwirbelraumhöhe im kaudalen Anschlusssegment getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – präoperativ, direkt postoperativ, 5 Jahre postoperativ – absolute Werte in mm

Präoperativ zeigten sich in den radiologischen Untersuchungen die Zwischenwirbelraumhöhen kranial (Abb. 32) mit durchschnittlichen Werten von 5,81 mm in Gruppe 1, 5,95 mm in Gruppe 2, 5,91 mm in Gruppe 3 und 6,47 mm in Gruppe 4. Im kaudalen Anschlusssegment (Abb. 33) stellen sich Werte von 5,38 mm in Gruppe 1, 5,35 mm in Gruppe 2, 5,84 mm in Gruppe 3 und 5,79 mm in Gruppe 4 dar. Unmittelbar postoperativ hatte sowohl kranial als auch kaudal in allen Gruppen die Zwischenwirbelraumhöhe um 0,36 mm bis 0,92 mm zugenommen (Abb. 32 und 33). 5 Jahre postoperativ zeigten sich in allen Gruppen Verminderungen der Zwischenwirbelraumhöhe im Vergleich zum präoperativen Ausgangswert. Die stärkste Abnahme im Verhältnis zum postoperativ gemessenen Wert, zeigte sich kranial und kaudal in den Gruppen mit ventraler Spondylodese (Abb. 32 und 33).

b) Höhenminderung der Zwischenwirbelräume

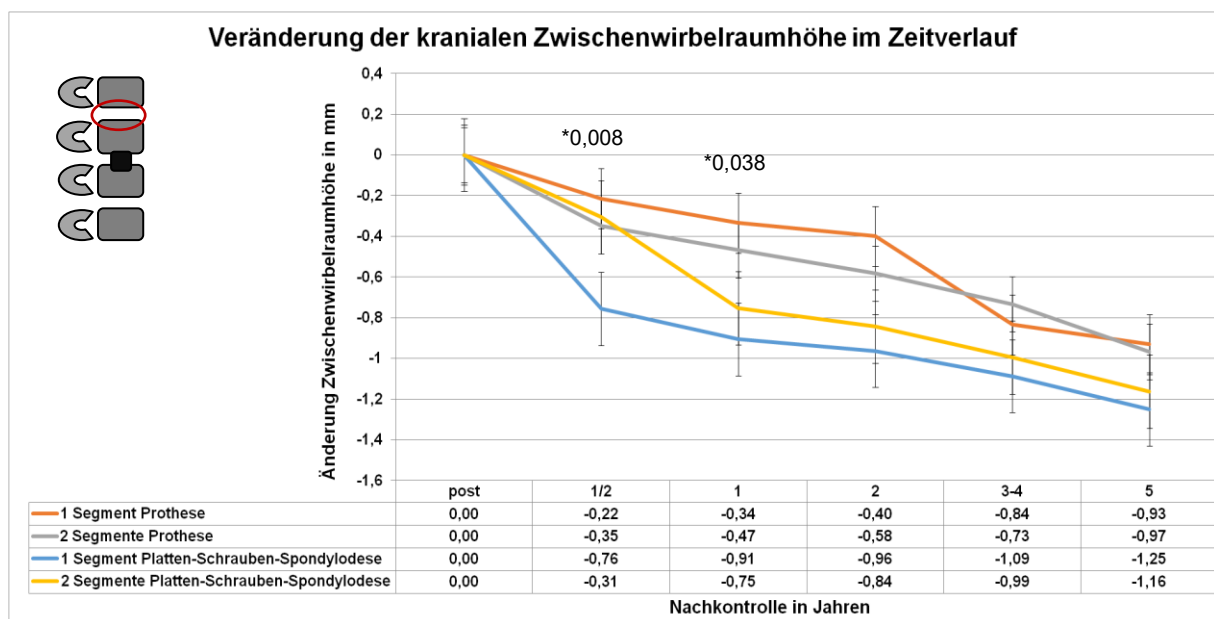


Abbildung 34 – zeitlicher Verlauf der Höhenminderung des Zwischenwirbels in kranialen Anschlusssegment getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm

Die Auswertungen in Abbildung 34 zeigen eine progrediente mittlere Höhenminderung der kranialen Zwischenwirbelräume in allen Untersuchungsgruppen. Als signifikant hinsichtlich ihres Unterschiedes in der Höhenminderung ergaben sich die Werte für ein halbes Jahr ($p=0,008$) und ein Jahr postoperativ ($p=0,038$). Ein halbes Jahr nach der Operation zeigte sich der Mittelwert für die Höhenminderung in der Gruppe mit einer monosegmentalen Platten-Schrauben-Spondylodese mit einer Abnahme von 0,76 mm signifikant gegenüber einer mono- (0,21 mm, $p=0,008$) und bisegmentalen (0,30 mm, $p=0,040$) Versorgung mittels

zervikaler Bandscheibenprothese sowie einer bisegmentalen Spondylodese (0,31 mm, $p=0,005$) erhöht (s. Anhang V, Tab 11). Auch nach einem Jahr zeigte sich in dieser Gruppe mit einem $p=0,019$ eine signifikant vermehrte Abnahme der Zwischenwirbelhöhe mit 0,91 mm gegenüber einer monosegmentalen Prothese mit einer Abnahme von 0,32 mm (s. Anhang V, Tab. 12).

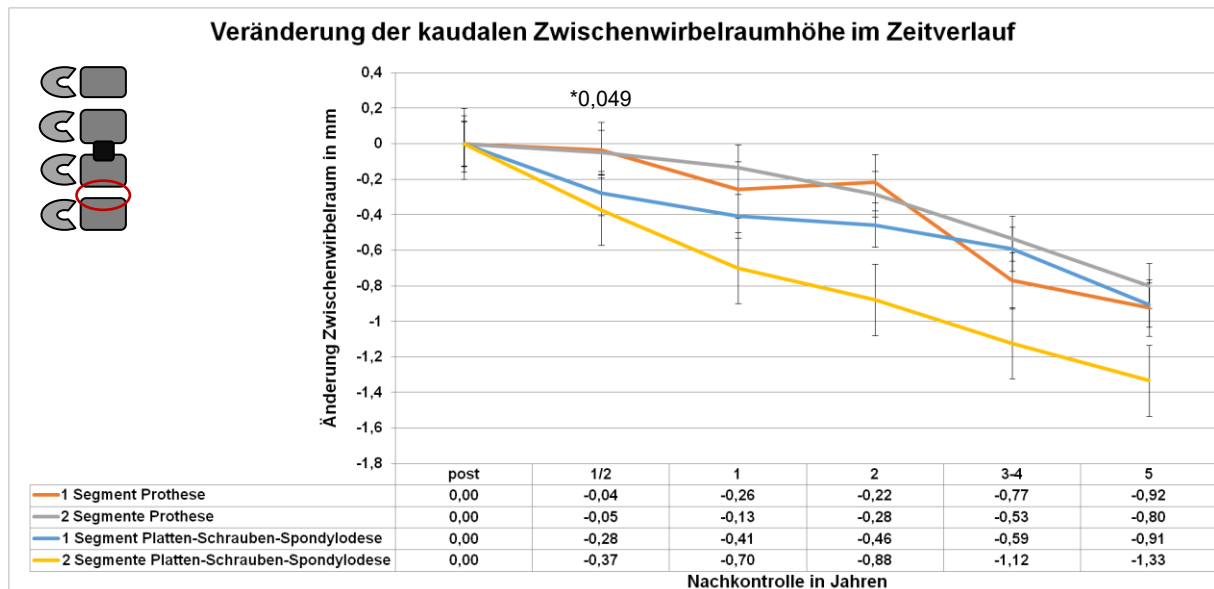


Abbildung 35 – zeitlicher Verlauf der Höhenminderung des Zwischenwirbelraums im kaudalen Anschlusssegment getrennt nach der Methode der operativen Versorgung– in mm

Gleich dem kranialen Segment konnte auch im kaudalen Anschlusssegment eine progrediente Höhenminderung in allen Patientengruppen nachgewiesen werden (Abb. 35). Signifikante Werte mit einem $p=0,049$ ergaben sich jedoch hier nur für einen Nachkontrollzeitraum von einem halben Jahr. Hier zeigte sich in den Kreuzanalysen, dass die Höhenabnahme von 0,28 mm in der Gruppe mit einer monosegmentalen Platten-Schrauben-Spondylodese signifikant gegenüber der Abnahme von 0,04 mm in den Gruppen mit mono- ($p=0,010$) und bisegmentaler zervikaler Bandscheibenprothesen ($p=0,044$) erhöht ist (s. Anhang V, Tab. 13).

5.5.3. Verkalkung des Lig. longitudinale anterior

Als Zeichen einer Anschlussdegeneration ist die Verkalkung des Lig. longitudinale anterior zu werten. Dies wurde 5 Jahre postoperativ für das kraniale und kaudale Anschlusssegment prozentual berechnet und für die 4 Patientengruppen grafisch dargestellt.

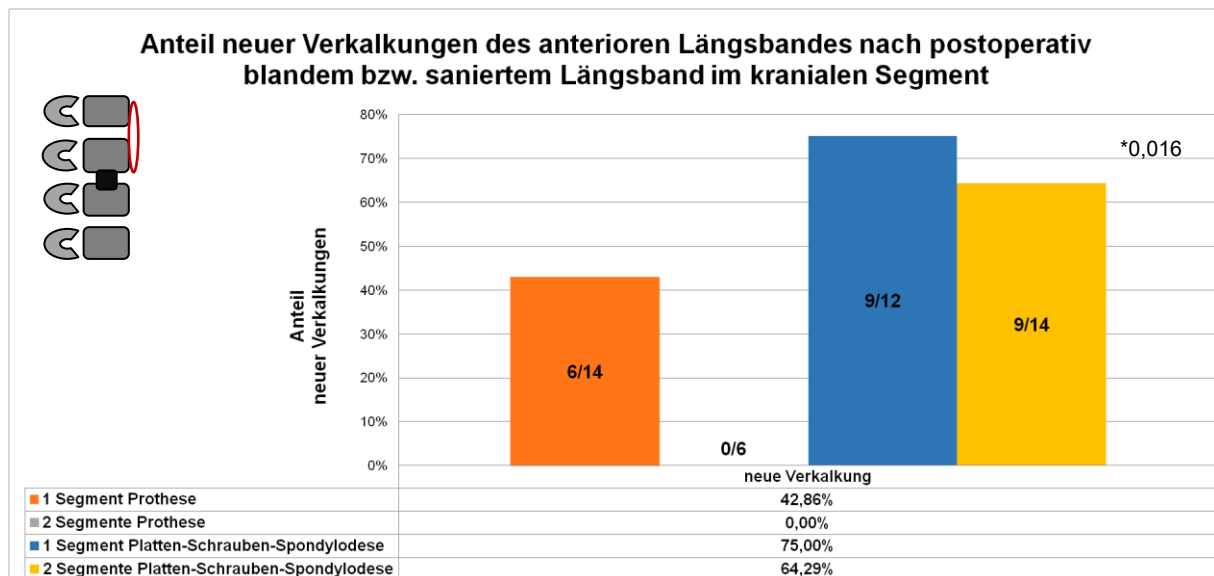


Abbildung 36 – Darstellung des Anteils neuer Verkalkungen des Lig. longitudinale anterius nach postoperativ blandem oder saniertem Längsband, 5 Jahre postoperativ, kraniales Anschlusssegment - getrennt nach der Methode der operativen Versorgung

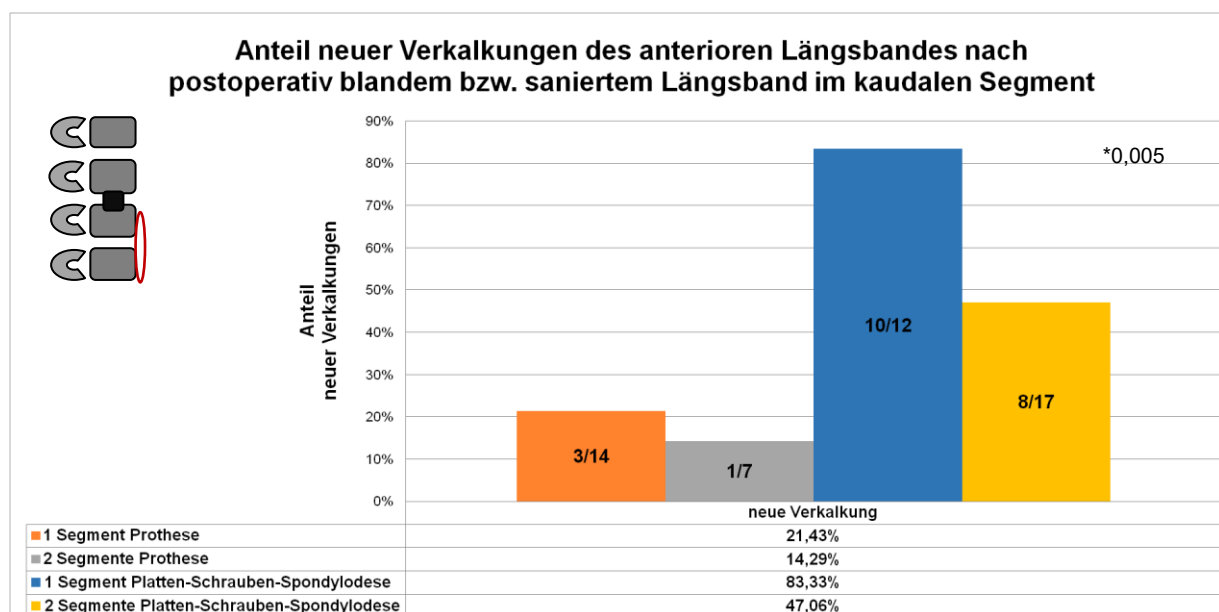


Abbildung 37 – Darstellung des Anteils neuer Verkalkungen des Lig. longitudinale anterius nach postoperativ blandem oder saniertem Längsband, 5 Jahre postoperativ, kaudales Anschlusssegment - getrennt nach der Methode der operativen Versorgung

Die Raten neuer Verkalkungen des Lig. longitudinale anterius stellten sich 5 Jahre postoperativ im kranialen (Abb. 36, $p=0,016$) und kaudalen (Abb. 37, $p=0,005$) Anschlusssegment als signifikant erhöht für die Gruppen mit ventraler Spondylodese heraus. Im kranialen Segment zeigten 9 von 12 Patienten (75%) mit monosegmentaler ventraler Spondylodese eine Verkalkung des Lig. longitudinale anterius im Nachuntersuchungszeitraum. Bei den restlichen 4 Patienten dieser

Gruppe bestanden bereits prä- und postoperativ Verkalkungen des Längsbandes im kranialen Anschlusssegment. Auch die Gruppe mit bisegmentaler Fusionierung besitzt im kranialen Anschlusssegment einen Anteil von 9 von 14 Patienten (64,29%) mit Verkalkungen. Auch hier verfügten die restlichen 5 Patienten bereits prä- und postoperativ über eine Verkalkung des Längsbandes. In den Gruppen mit zervikaler Bandscheibenprothese traten geringere Anteile (Gruppe 1 – 42,68%) bzw. gar keine Verkalkungen (Gruppe 2) auf. Die Kreuzanalysen für die einzelnen Gruppen ergaben für Patienten mit mono- ($p=0,003$) oder bisegmentaler Spondylodese ($p=0,008$) signifikant erhöhte Werte gegenüber der Gruppe mit bisegmentaler zervikaler Bandscheibenprothese (s. Anhang V, Tab. 14).

Kaudal zeigte sich die Gruppe mit monosegmentaler ventraler Spondylodese mit einem $p=0,002$ und $p=0,003$ (s. Anhang V, Tab. 15) mit ihrem Anteil an neuen Verkalkungen des Lig. longitudinale anterius gegenüber den Gruppen mit zervikaler Bandscheibenprothese erhöht. In der Gruppe mit monosegmentaler Fusionierung kam es bei 10 von 12 Patienten (83,33%) zu einer Neuverkalkung des Längsbandes. 47,06% (8/17) der Patienten mit bisegmentaler ventraler Spondylodese zeigten ebenso eine Verkalkung des Längsbandes im kaudalen Anschlusssegment. Die Gruppen mit zervikaler Bandscheibenprothese hatten einen geringeren Anteil an Verkalkungen im Nachuntersuchungszeitraum. Hier ergaben sich bei monosegmentaler Versorgung 21,43% (3/14) und bei bisegmentaler Versorgung 14,29% (1/7) der Patienten mit Verkalkungen.

5.5.4. Bandscheibendegeneration anhand des McAfee Scores

Die folgenden Grafiken geben anhand des McAfee Scores einen Überblick über den Verlauf der Degeneration in den Segmenten, die mit einer zervikalen Bandscheibenprothese versorgt wurden sowie in modifizierter Weise in den Anschlusssegmenten. Nach der Bestimmung der Mittelwerte konnten diese für die einzelnen Gruppen zu den jeweiligen Nachuntersuchungszeitpunkten dargestellt werden.

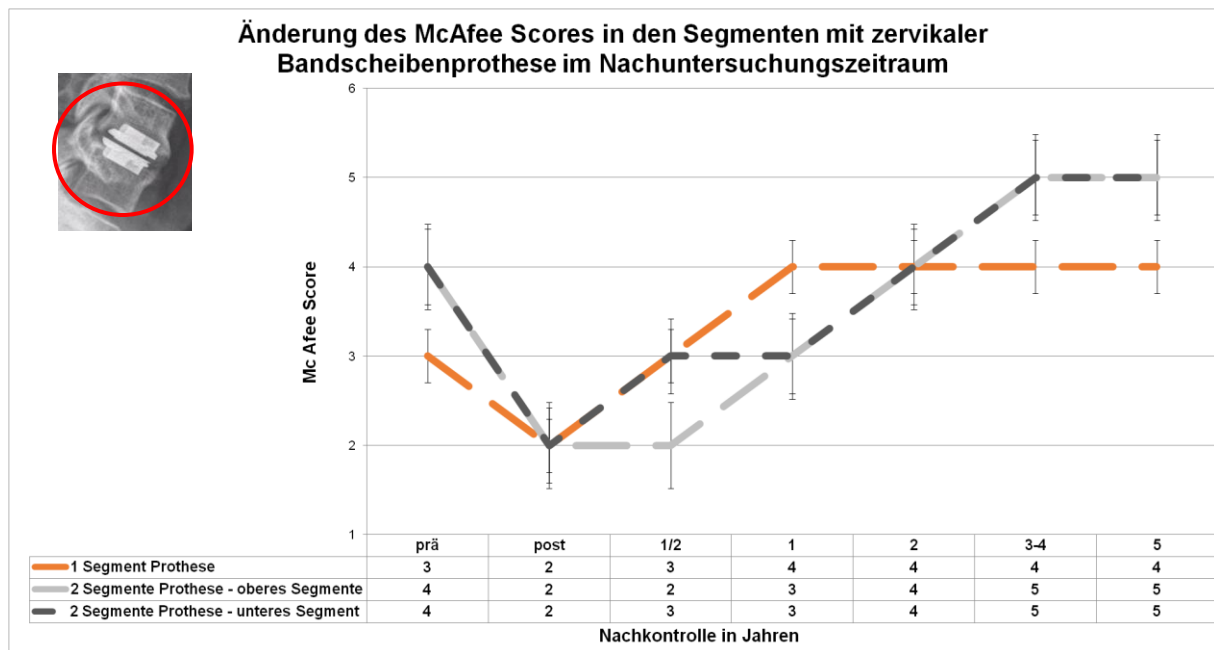


Abbildung 38 – Änderung des McAfee Scores im operierten Segment über den Nachuntersuchungszeitraum von 5 Jahren für die Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese

Die Erhebungen des McAfee Scores für die Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese wurden wie in Abbildung 38 dargestellt, für die monosegmentale Versorgung und jeweils für das obere und untere Segment bei bisegmentaler Versorgung dargestellt. Zwischen den daraus resultierenden Gruppen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Präoperativ lagen in allen Segmenten mit Operationsindikation Degenerationsstadien zwischen 3 und 4 vor. Durch die operative Versorgung kam es in allen Segmenten postoperativ zur Verbesserung des Degenerationszustandes auf den Score Wert 2. In den Nachuntersuchungen stellte sich ab einem halben Jahr eine progrediente Verschlechterung der Score Werte in den Gruppen mit monosegmentaler Prothese und im unteren Segment der bisegmentalen Versorgung ein. Im oberen Anschlusssegment der Patienten mit bisegmentaler prothetischer Versorgung fand diese progrediente Verschlechterung des Score Wertes nach einem Jahr statt. 5 Jahre postoperativ lag in der Gruppe mit monosegmentaler Bandscheibenprothese der Score Wert 4 vor. Beide Segmente mit bisegmentaler Bandscheibenprothese zeigten einen Score Wert von 5.

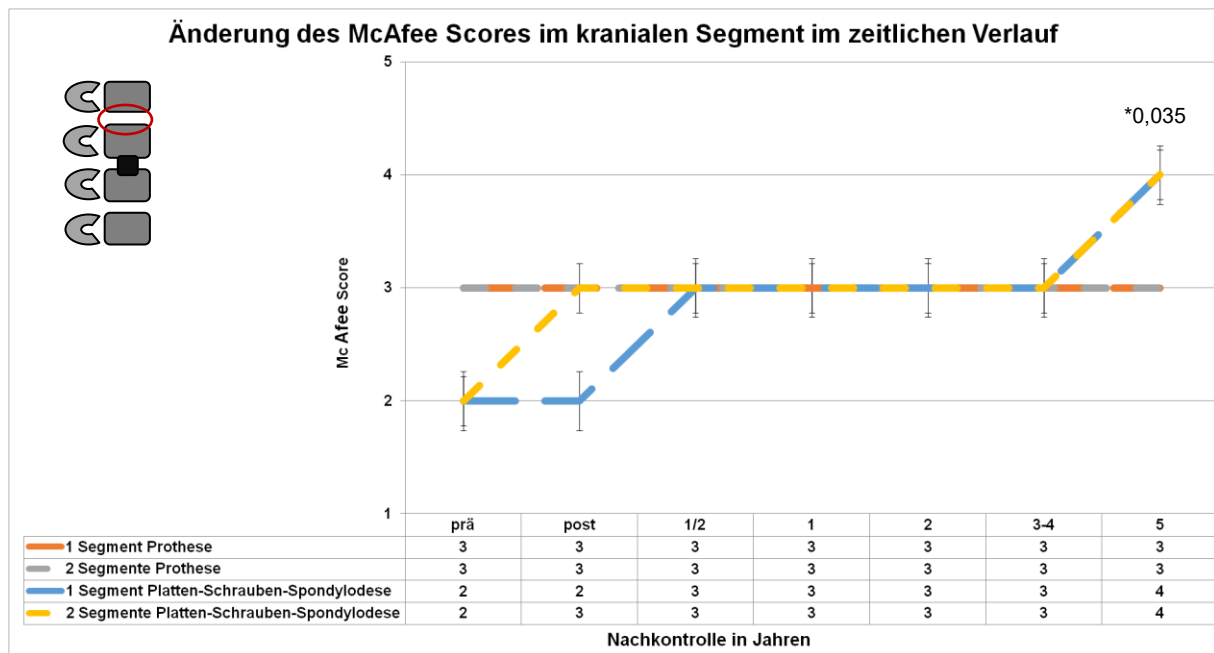


Abbildung 39 – zeitlicher Verlauf des mittleren McAfee Scores im kranialen Anschlusssegment getrennt nach der Methode der operativen Versorgung

Anhand der lateralen Röntgenaufnahmen der HWS konnte der Degenerationszustand des kranialen Anschlusssegments mit dem modifizierten McAfee Score bestimmt und in Abbildung 39 dargestellt werden. Eine Verschlechterung der präoperativen Ausgangswerte zeigte sich nur in den Gruppen mit ventraler Platten-Schrauben-Spondylodese. Evaluiert werden konnte, dass bereits präoperativ in allen Gruppen eine Degeneration in den Anschlusssegmenten vorlag. In den Gruppen mit späterer Implantation einer mono- oder bisegmentalen zervikalen Bandscheibenprothese sowie in der Gruppe mit späterer bisegmentaler Platten-Schrauben-Spondylodese lag im Mittelwert die Stufe 3 des Score Wertes vor. In der Gruppe mit einer monosegmentalen ventralen Spondylodese lag im Mittelwert Degenerationsstufe 2 präoperativ vor. In dieser Gruppe verschlechterte sich der Score Wert im Verhältnis zum präoperativen Ausgangswert am stärksten und erreichte wie die bisegmentale Spondylodese einen mittleren Wert von 4. In den beiden Gruppen mit einer Versorgung mit zervikaler Bandscheibenprothese sind die mittleren Score Werte über den Nachuntersuchungszeitraum konstant bei 3 geblieben. 5 Jahre postoperativ zeigte sich ein signifikant schlechterer Degenerationszustand ($p=0,035$) in den Gruppen mit Platten-Schrauben-Spondylodese im Vergleich zu den Gruppen mit zervikaler Bandscheibenprothese.

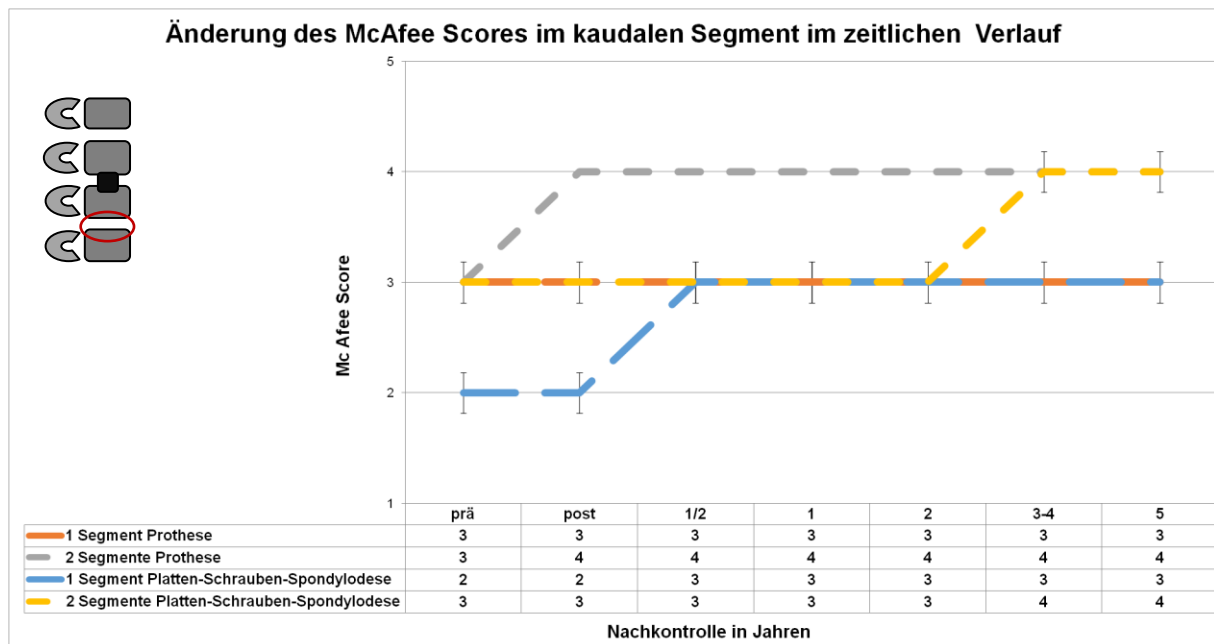


Abbildung 40 - zeitlicher Verlauf des mittleren McAfee Scores im kaudalen Anschlusssegment getrennt nach der Methode der operativen Versorgung

Die Ermittlung der mittleren Score Werte nach dem modifizierten McAfee Score im kaudalen Anschlusssegment ergaben die in Abbildung 40 dargestellten Ergebnisse. Auch hier lagen in allen Patientengruppen bereits präoperativ Degenerationen vor. Es zeigten sich in den Gruppen mit späterer Implantation von Bandscheibenprothesen sowie in der Gruppe mit späterer bisegmentaler Platten-Schrauben-Spondylodese präoperative Degenerationszustände der Stufe 3. Die geringste Degenerationsstufe lag in der Gruppe mit einer monosegmentalen ventralen Spondylodese mit einem Score Wert von 2 vor. Im Anschluss an die Operation verschlechterte sich in dieser Gruppe der Degenerationszustand konstant bis zu einem 5-Jahres Score Wert von 3. Beide Gruppen mit prothetischer Versorgung zeigten im Vergleich zum postoperativen Zustand keine Veränderung des Score Wertes im Untersuchungszeitraum. Die Score Werte beider Gruppen mit Platten-Schrauben-Spondylodese haben sich um einen Score Punkt im Vergleich zum präoperativen Zustand verschlechtert. 5 Jahre postoperativ fanden sich mit einem Score Wert von 4 die stärksten Degenerationszustände in den Gruppen mit bisegmentalen Prothesen bzw. Spondylodesen. Zwischen den 4 Gruppen bestanden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich ihres Score Wertes.

5.6. Klinische Ergebnisse

5.6.1. Schmerzempfinden anhand der NRS

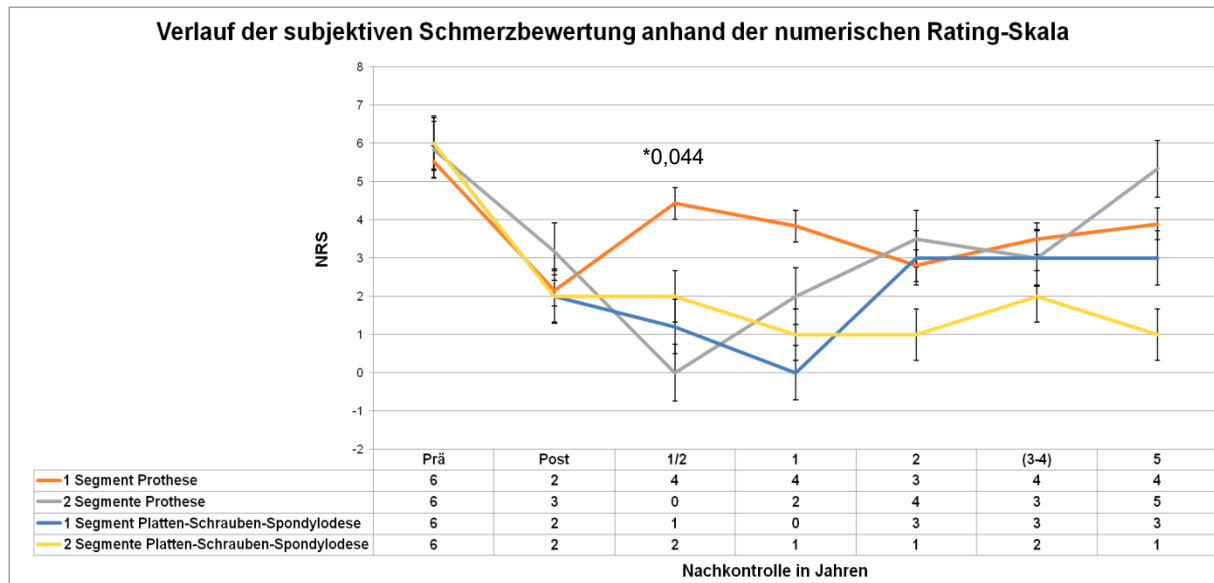


Abbildung 41 – zeitlicher Verlauf des subjektiven Schmerzempfindens anhand der NRS, getrennt nach der Methode der operativen Versorgung

Präoperativ berichteten alle Patientengruppen von einem subjektiven Schmerzempfinden von 6 (Abb. 41). Postoperativ bestand in allen Patientengruppen eine Schmerzlinderung und wurde subjektiv mit 2 bzw. in der Gruppe mit monosegmentaler Platten-Schrauben-Spondylodese mit 3 angegeben. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen mit $p=0,044$ ergab sich ein halbes Jahr postoperativ. Hier zeigte sich, dass Patienten mit einer monosegmentalen Bandscheibenprothese mit einem subjektiven Schmerzempfinden von 4 über stärkere Schmerzen klagten, als Patienten mit mono- (NRS=1) oder bisegmentaler (NRS=2) Spondylodese sowie Patienten mit bisegmentaler prothetischer Versorgung (NRS=0). Die Schmerzangaben in den weiteren Untersuchungsjahren zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Es konnte festgestellt werden, dass die Schmerzen gegenüber dem Ausgangswert durch alle Operationsverfahren minimiert wurden, jedoch 5 Jahre postoperativ in keiner Patientengruppe Schmerzfreiheit bestand. Hier gaben Patienten mit mono- (NRS=4) und bisegmentaler (NRS=5) prothetischer Versorgung im Mittelwert die stärksten Schmerzen an.

5.6.2. Zervikobrachialgien

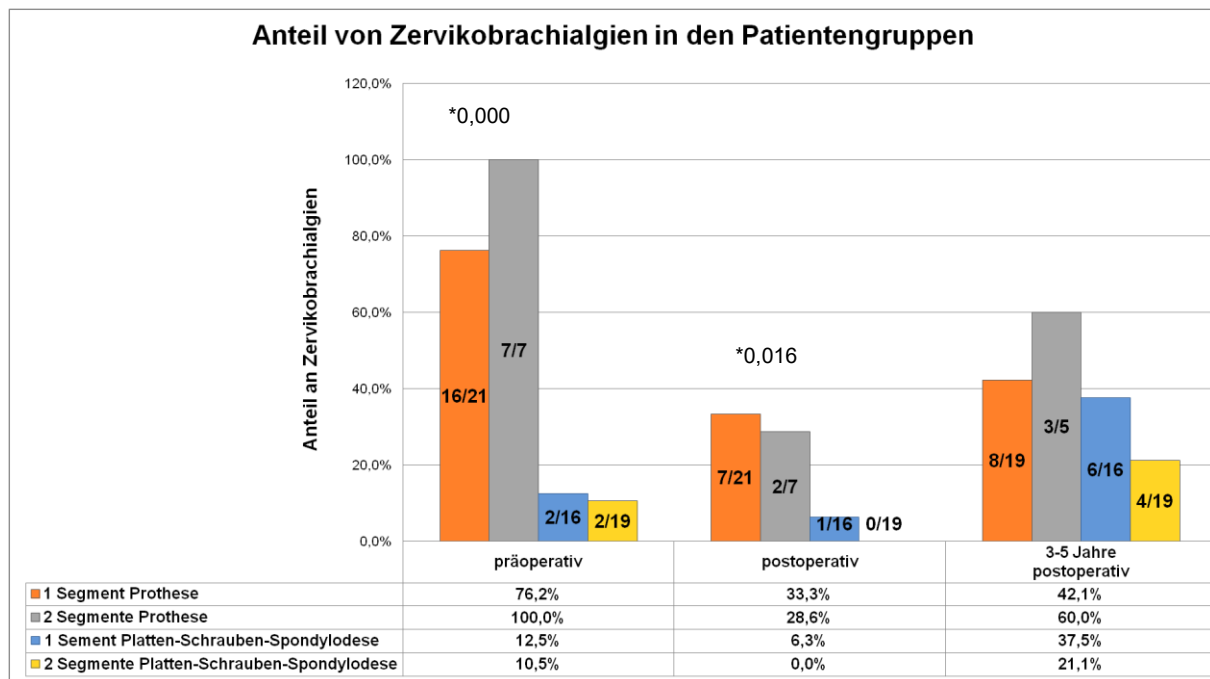


Abbildung 42 – prozentualer Anteil von Zervikobrachialgien getrennt nach der Methode der operativen Versorgung, präoperativ, postoperativ sowie nach einem Zeitraum von 3 – 5 Jahren postoperativ

Wie der Abbildung 42 zu entnehmen ist, berichteten 76% (16/21) der Patienten mit anschließender mono- und alle Patienten mit anschließender bisegmentaler prothetischer Versorgung über präoperative Zervikobrachialgien. Es zeigte sich mit einem $p=0,000$ ein deutlich höherer Anteil an Zervikobrachialgien als in den Gruppen mit anschließender ventraler Spondylodese. Hier klagten in der Gruppe, die anschließend mit einer monosegmentalen Fusionierung behandelt wurden, 2 von 16 Patienten (12,5%) und in der Gruppe mit anschließender bisegmentaler Spondylodese 2 von 19 Patienten (10,5%) über Zervikobrachialgien. Postoperativ war in allen Gruppen eine Verringerung des Anteils der Patienten mit Zervikobrachialgien zu verzeichnen. Auch hier zeigte sich ein signifikanter Unterschied mit einem $p=0,016$ zwischen den unterschiedlichen Operationstypen. Der Anteil von 1/16 (6,3%) bzw. 0/19 (0%) der Patienten der Gruppe mit mono- ($p=0,047$) und bisegmentaler Spondylodese ($p=0,006$) mit Zervikobrachialgien war gegenüber jenen mit monosegmentaler Bandscheibenprothesenversorgung deutlich vermindert (s. Anhang V, Tab. 19). Hier litten 7 von 21 Patienten (33,3%) unter Zervikobrachialgien. In der Gruppe mit bisegmentaler Bandscheibenprothesenversorgung berichteten 2 von 7 Patienten (28,6%) von postoperativen

Zervikobrachialgien und damit ein signifikant größerer Anteil als in der Gruppe mit bisegmentaler Spondylodese ($p=0,015$, s. Anhang V, Tab. 19).

Die Angaben der Patienten 3-4 bzw. 5 Jahre nach Operation waren jeweils nur einschränkend vollständig, sodass diese zu einem gemeinsamen Untersuchungszeitraum (3 – 5 Jahre postoperativ) zusammengefasst wurden. Patienten, die keine Angaben bezüglich Zervikobrachialgien in diesem Zeitraum machten, wurden für dieses Outcome aus der Wertung genommen, sodass sich die Patientenanzahlen in den Gruppen reduziert haben. In Gruppe 1 lagen 19, in Gruppe 2 5, in Gruppe 3 16 und in Gruppe 4 19 Angaben vor. Zwischen den Gruppen ergaben sich hierbei keine signifikanten Unterschiede. In allen Gruppen zeigte sich eine Progredienz der Zervikobrachialgien. In der Gruppe mit bisegmentaler Bandscheibenprothese klagten mit 60% (3/5) die meisten Patienten über eine derartige Symptomatik. Der geringste Anteil an Zervikobrachialgien fand sich mit 21,2% (4/19) der Patienten in der Gruppe mit bisegmentaler Spondylodese. Patienten der Gruppe mit monosegmentaler Bandscheibenprothese klagten 3 – 5 Jahre postoperativ zu 42,1% (8/19) und Patienten der Gruppe mit monosegmentaler Spondylodese zu 37,5% (6/16) über bestehende Zervikobrachialgien.

5.6.3. Sensibilitätsstörungen

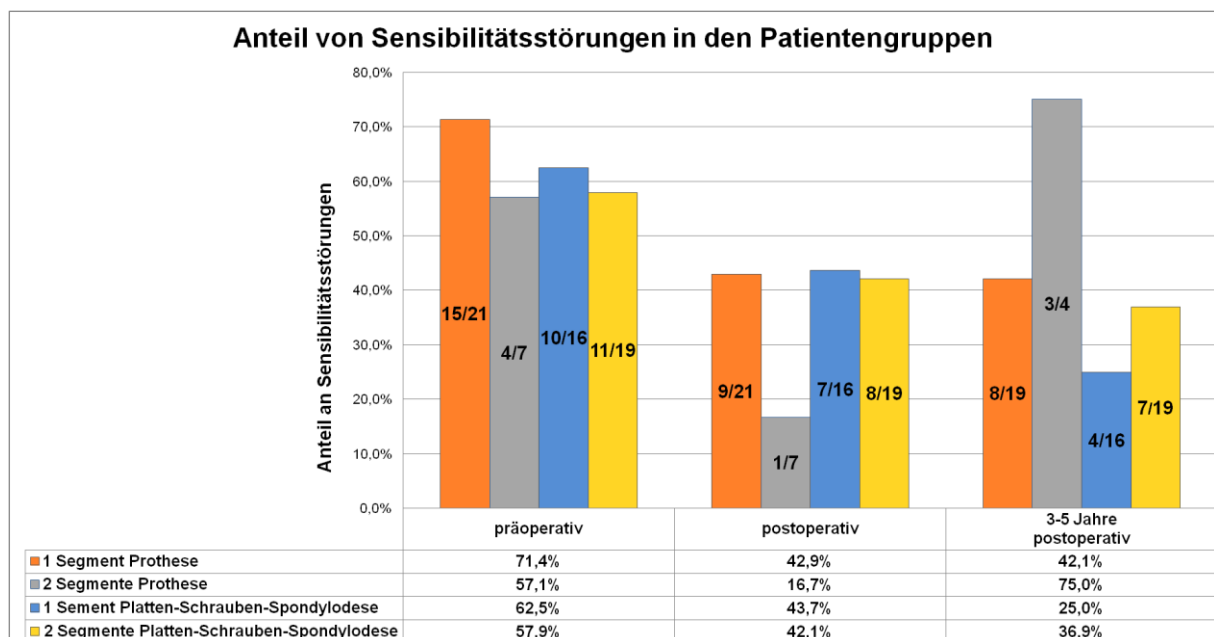


Abbildung 43 – Anteil von Sensibilitätsstörungen getrennt nach der Methode der operativen Versorgung, prä- und postoperativ sowie 3 – 5 Jahre postoperativ

Die prä- und postoperative Befragung und klinische Untersuchung der Patienten in den einzelnen Gruppen ergab eine Abnahme der Sensibilitätsstörungen in allen Gruppen (Abb. 43). In Gruppe 1 reduzierte sich der Anteil jener mit Sensibilitätsstörungen von 71,4% (15/21) auf 42,9% (9/21). In Gruppe 2 von 57,1% (4/7) auf 16,7%(1/7). In Gruppe 3 von 62,5% (10/16) auf 43,7% (7/16) und in Gruppe 4 von 57,9% (11/19) auf 42,1% (8/19). Zwischen den Gruppen lagen sowohl prä- als auch postoperativ keine signifikanten Unterschiede vor.

Auch hier erfolgte eine Zusammenfassung der Daten von 3 – 5 Jahren. Patienten, die keine Angaben bezüglich Sensibilitätsstörungen in diesem Zeitraum angaben, wurden für dieses Outcome aus der Wertung genommen, sodass sich die Patientenanzahlen in den Gruppen reduziert haben. In Gruppe 1 lagen 19, in Gruppe 2 4, in Gruppe 3 16 und in Gruppe 4 19 Angaben vor. Zwischen den Gruppen fanden sich keine signifikanten Unterschiede. Insgesamt zeigte sich in allen Gruppen, bis auf jene mit bisegmentaler Prothesenversorgung, eine leichte Regredienz der Sensibilitätsstörungen 3 - 5 Jahre nach der Operation. Der größte Anteil an Sensibilitätsstörungen konnte mit 3 von 4 Patienten (75%) in der Gruppe mit bisegmentaler Bandscheibenprothesenimplantation gefunden werden. In den Gruppen mit Spondylodese beschrieben 25% (4/16 Patienten mit monosegmentaler Spondylodese) – 36,9% (7/19 Patienten mit bisegmentaler Spondylodese) der Patienten Sensibilitätsstörungen. In der Gruppe mit monosegmentaler Bandscheibenprothese klagten 42,1% (8/19) über eine derartige Symptomatik.

5.7. Ergebnisse zum Vergleich zwischen traumatischer und degenerativer Genese bei Patienten mit ventraler Platten-Schrauben-Spondylodese

Die Auswertung der Daten zum Osteophytenwachstum erbrachte bis auf 2 Ausnahmen keine signifikanten Unterschiede im Nachuntersuchungszeitraum von 5 Jahren zwischen Patienten mit degenerativer und traumatischer Genese einer ventralen Spondylodese. Ausnahmen ergaben sich im kranialen und kaudalen Segment jeweils für den Osteophyten an der anterioren Wirbelkante in distaler Position zur Fusion. Hier zeigten sich mit p-Werten von $p=0,037$ (kraniales Segment) und $p=0,005$ (kaudales Segment) eine erhöhte Größenzunahmen der Osteophyten ein halbes Jahr nach Operation für Patienten mit degenerativer Genese. Die Messungen der Abnahme der Zwischenwirbelraumhöhen ergaben zwischen den Gruppen keinen signifikanten Unterschied. Der McAfee Score in den angrenzenden

Segmenten zeigte sowohl kranial als auch kaudal einen erhöhten Degenerationszustand über den gesamten Nachuntersuchungszeitraum für Patienten mit degenerativer Genese. 5 Jahre postoperativ lag bei Patienten mit degenerativer Genese ein McAfee Score von 4 und bei jenen mit traumatischer Genese ein McAfee Score von 3 vor. Ein halbes Jahr postoperativ zeigte sich im kaudalen Segment mit einem $p=0,005$ eine verstärkte Rate an Verkalkungen des Lig. longitudinale anterior bei Patienten mit degenerativer Genese der ventralen Spondylodese. Über den weiteren Verlauf der Nachuntersuchung näherten sich die prozentualen Anteile an Verkalkungen in beiden Gruppen aneinander an. Kranial zeigte sich nach 5 Jahren eine Verkalkungsrate von 83,3% bei Patienten mit traumatischer und 85,7% bei Patienten mit degenerativer Genese. Kaudal ergaben sich 58,3% bei den traumatisch und 85,7% bei den degenerativ bedingten ventralen Spondylodesen.

Die klinischen Evaluationen ergaben 5 Jahre postoperativ ein signifikant verstärktes subjektives Schmerzempfinden für Patienten mit traumatischer Genese. Diese Patienten gaben auf der NRS durchschnittlich 3 an. Patienten mit degenerativer Genese berichteten durchschnittlich über den Wert 1 auf der NRS. Es zeigte sich in beiden Gruppen eine postoperative Reduktion der Schmerzen, die bis 4 Jahre nach der Operation keine signifikanten Unterschiede bildete. Die Analyse bestehender präoperativer Zervikobrachialgien erbrachte in beiden Gruppen eine Verbesserung durch die Operation. Im Verlauf der Nachuntersuchung konnten keine signifikanten Unterschiede evaluiert werden. Am Ende des Nachuntersuchungszeitraums zeigten 25% der Patienten mit traumatischer und 14,3% der Patienten mit degenerativer Ursache der ventralen Spondylodese Zervikobrachialgien. 60% der Patienten mit Trauma und 50% jener mit Degeneration berichteten präoperativ von Sensibilitätsstörungen. Die Operation verringerte diese Sensibilitätsstörungen direkt postoperativ in der Gruppe mit Traumata auf 44% und in der Gruppe mit Degeneration auf 16,7%. 5 Jahre nach der Operation klagten noch 23,1% der Patienten mit traumatischer und 16,7% mit degenerativer Ursache der ventralen Spondylodese über Sensibilitätsstörungen. Es zeigten sich hinsichtlich der Sensibilitätsstörungen zwischen den Gruppen 5 Jahre postoperativ keine signifikanten Unterschiede.

6. Diskussion

Das Anliegen dieser Studie war es, die 5 Jahres Ergebnisse von Platten-Schrauben--Spondylodesen versus Bandscheibenprothesen bei degenerativen oder traumatischen Erkrankungen eines Wirbelsegments zu vergleichen. Von besonderem Interesse waren hierbei die Degenerationszustände in den sich anschließenden Segmenten sowie Schmerzen und neurologische Symptomatik.

Die Ergebnisse erbrachten, dass eine operative Intervention mit Bandscheibenprothese gegenüber einer Spondylodese deutlich verminderte Anschlussdegenerationen aufzeigte. Jedoch stellte sich eine zunehmende heterotope Ossifikation der mit Prothese versorgten Segmente dar, deren Auswirkung auf die anschließenden Segmente derzeit noch unklar ist. Symptome wie Schmerzen, Zervikobrachialgien und Sensibilitätsstörungen konnten mit beiden Operationsmöglichkeiten auch langfristig reduziert werden.

Die Grundlage der Untersuchung bilden Studien von Rosenthal (2013), Chang et al. (2007) und Lopez-Espina et al. (2006), die eine Mehr- und Überbelastung in den zur Fusion angrenzenden Wirbelsegmenten postulieren. Trotz sehr guter Ergebnisse in der Verbesserung von neurologischer Symptomatik und Schmerzen, die in Studien von Islam et al. (2012) und Parker et al. (2013) festgestellt werden, beobachten Kepler und Hilibrand (2012) in Langzeitstudien beschleunigte degenerative Prozesse in den Anschlusssegmenten. Konkret handelt es sich dabei um die Abnahme der Zwischenwirbelraumhöhe, die Ausbildungen von knöchernen Exostosen an den Rändern der Wirbelkörper und die Verkalkungen der Ligg. longitudinale anterius et posterius.

Es resultierte die Fragestellung, ob die Implantation von zervikalen Bandscheibenprothesen als alternative Operationsmethode die physiologische Bewegung der HWS erhalten und damit eine Mehr- und Überbelastung in den benachbarten Segmenten verhindern kann und somit bei ähnlich guten oder besseren klinischen Ergebnissen, diese postoperativen degenerativen Prozesse in den Anschlusssegmenten vermindert kann.

Studien von Nabhan et al. (2007a), Traynelis und Treharne (2007), Obernauer et al. (2016) sowie Loumeau et al. (2016) zur Implantation zervikaler Bandscheibenprothesen bestätigen die Verbesserung der physiologischen Beweglichkeit der HWS sowie gute und sehr gute klinische Outcomes. Zwar erbrachten die Recherchen eine Vielzahl von Kurz- und Langzeitstudien zur biomechanischen Funktionsprüfung der HWS und Untersuchungen zum klinischen Outcome nach Implantation einer zervikalen Bandscheibenprothese, jedoch liegen aufgrund des modernen Operationsverfahrens unzureichende Evaluationen der radiologisch messbaren degenerativen Prozesse in den Anschlusssegmenten vor. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit einer sach- und fachgerechten Bewertung.

Die vorliegende Studie überprüft die Hypothese, dass eine zervikale Bandscheibenprothese im Gegensatz zur ventralen Spondylodese eine Anschlussdegeneration vermindern kann. Diese moderne Operationsmethode soll hypothetisch ein geringeres Wachstum der Osteophyten sowie eine verminderte Abnahme des Zwischenwirbelraumes in den benachbarten Segmenten im Vergleich zur Fusionierung zeigen. Außerdem soll in den Anschlusssegmenten ein kleinerer Anteil an Patienten mit Verkalkungen des Lig. longitudinale anterius und eine niedrigere Degenerationsstufe nach dem McAfee Score bei Patienten mit prothetischer Versorgung vorliegen. Klinisch sollen sich ähnlich gute oder bessere Ergebnisse hinsichtlich Schmerzen, Zervikobrachialgien und Sensibilitätsstörungen bei Patienten mit Bandscheibenprothese im Vergleich zur ventralen Spondylodese zeigen.

In die Studie einbezogen wurden 63 Patienten, die zwischen Januar 2002 und Dezember 2011 operativ im Klinikum BG Bergmannstrost versorgt wurden. Davon erhielten 28 Patienten eine Versorgung mit zervikaler Bandscheibenprothese und 35 Patienten eine operative Versorgung mit ventraler Platten-Schrauben-Spondylodese. Bei den Patienten lag ein Durchschnittsalter von 47 Jahren zum Operationszeitpunkt vor. Untersucht wurden 40 männliche und 23 weibliche Patienten. Am häufigsten von einem operativen Eingriff war das Segment C5/6 betroffen.

6.1. Ergebnisse der Anschlussdegeneration bei Patienten mit ventraler Spondylodese aufgrund von traumatischer oder degenerativer Genese

Um folgende Ergebnisse dieser Studie auf ihre Aussagekraft zu überprüfen, wurde zuerst ein Vergleich zwischen den unterschiedlichen Genesen der HWS-Symptomatik bei den Patienten mit ventraler Spondylodese erhoben. Nur wenn sich keine oder kaum signifikante Unterschiede zwischen den Patienten mit degenerativer bzw. traumatischer Genese ergeben, erscheint eine Zusammenfassung der Patienten zu mono- bzw. bisegmentaler ventraler Spondylodese sinnvoll. Die Auswertung der Daten zum Osteophytenwachstum erbrachte bis auf 2 Ausnahmen keine signifikanten Unterschiede im Nachuntersuchungszeitraum von 5 Jahren zwischen Patienten mit degenerativer und traumatischer Genese einer ventralen Spondylodese. Ausnahmen ergaben sich ein halbes Jahr postoperativ im kranialen und kaudalen Segment jeweils nur für den Osteophyten an der anterioren Wirbelkante in distaler Position zur Fusion mit einer erhöhten Größenzunahmen für Patienten mit degenerativer Genese. Eine definitive Ursache für dieses verstärkte Wachstum kann sich aus der Genese der HWS-Symptomatik nicht ableiten lassen und erscheint nur von Relevanz, wenn sich langfristig Komplikationen wie Dysphagien oder Dyspnoe aus diesen anterioren Osteophyten ergeben würden (Varsak et al. 2014, Akhaddar und Zalagh 2014), die in dieser Arbeit jedoch bei keinem Patienten festgestellt wurden.

Hinsichtlich der Messungen zur Abnahme der Zwischenwirbelraumhöhen und der Verkalkungsraten des Lig. longitudinale anterius ergaben sich zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Der McAfee Score in den angrenzenden Segmenten zeigte sowohl kranial als auch kaudal einen erhöhten Degenerationszustand über den gesamten Nachuntersuchungszeitraum für Patienten mit degenerativer Genese. Dieses Ergebnis lässt sich damit erklären, dass die Patienten mit traumatischer Genese der HWS-Symptomatik durchschnittlich jünger waren und nicht aufgrund von voranschreitenden degenerativen Veränderungen, sondern aufgrund eines Traumas operiert wurden. Hinsichtlich der postoperativen Veränderungen stellte sich für beide Gruppen ein ähnlicher Verlauf dar. Keine Gruppe wies im Vergleich zur anderen beschleunigte degenerative Prozesse auf. Es zeigt sich, dass die Genese der HWS-Symptomatik keine Auswirkung auf den Verlauf der degenerativen Prozesse in den

Anschlusssegmenten besitzt. Insgesamt ergeben sich somit unabhängig von der Genese der HWS-Symptomatik vergleichbare degenerative Prozesse in den Anschlusssegmenten beider Gruppen, die eine Zusammenfassung zu mono- bzw. bisegmentaler Spondylodese ermöglichen.

Die Evaluation klinischer Symptomatik erbrachte 5 Jahre postoperativ ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von der Genese der HWS-Erkrankung. Allein die operative Intervention ist ausschlaggebend für den weiteren Verlauf der degenerativen und klinischen Prozesse. Die Patienten können somit ab dem Zeitpunkt der operativen Intervention uneingeschränkt miteinander verglichen werden. Präoperativ stellen sich durchaus Unterschiede dar, die abhängig von der Genese sind und somit unterschiedlich betrachtet werden müssen.

6.2. Studienergebnisse der einzelnen Gruppen – 5 Jahre postoperativ

Um die Ausmaße der Anschlussdegenerationen der beiden Operationstechniken besser darzustellen, werden im folgenden Kapitel die einzelnen Gruppen hinsichtlich ihrer 5-Jahres Outcomes getrennt diskutiert.

Wie in den Arbeiten von Kepler und Hilibrand (2012) beschrieben, wurden auch in der hier vorliegenden Arbeit bei den Patienten mit ventraler Spondylodese 5 Jahre postoperativ verstärkt bildmorphologische Zeichen einer Anschlussdegeneration festgestellt, die bei Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese vermindert ausfielen.

6.2.1. Monosegmentale ventrale Spondylodese

Die Auswertung der klinisch dokumentierten Untersuchungen erbrachte bei den Patienten gute bis sehr gute Langzeiterfolge mit einer Reduktion der Schmerzen und Sensibilitätsstörungen. Diese guten klinischen Ergebnisse bei einer monosegmentalen Spondylodese mit einer Reduktion der präoperativen Schmerz- und neurologischen Symptomatik konnten auch in Langzeitstudien von Parker et al. (2013) und Islam et al. (2012) evaluiert werden. Der Anteil von Patienten mit Zervikobrachialgien nahm im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert zwar um 25% zu, bildete jedoch neben der Gruppe mit bisegmentaler Spondylodese einen der geringsten Anteile im Gruppenvergleich. Eine erneute Zunahme des Anteils an Patienten mit Zervikobrachialgien könnte in der voranschreitenden Degeneration

benachbarter Segmente liegen, die zu einer erneuten Irritation der Nervenwurzel führt. Hierbei erscheint es notwendig, einer beschleunigten Anschlussdegeneration durch alternative Operationsverfahren entgegenzuwirken um eine Verschlechterung der präoperativen Symptomatik zu verhindern. Aus der Literatur und der hier vorliegenden Arbeit ergibt sich somit, dass eine monosegmentale ventrale Spondylodese zwar Schmerzen und neurologische Symptomatik aufgrund einer degenerativen oder traumatischen Erkrankung der HWS reduzieren kann, es jedoch durch die Fusionierung der Segmente zu einer verstärkten Degeneration der benachbarten Segmente (Kepler und Hilibrand 2012) kommt.

Dies zeigte sich besonders deutlich an der stärksten durchschnittlichen Größenzunahme der anterioren Osteophyten sowie den höchsten Raten an Verkalkungen des Lig. longitudinale anterius in den angrenzenden Segmenten in dieser Patientengruppe. Zudem war kranial die stärkste Höhenminderung des Bandscheibenraumes im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert zu verzeichnen. Sowohl kranial als auch kaudal stellte sich ein erhöhter McAfee Score im Vergleich zur zervikalen Bandscheibenprothese dar. Besonders im kranialen Segment kam es zu einer knöchernen Brückenbildung, die nur noch eine Restbeweglichkeit dieses Segmentes zuließ. Diese beschleunigte Degeneration in den Anschlusssegmenten kann im Langzeitverlauf zu erneuter klinischer Symptomatik wie Zervikobrachialgien mit Indikation einer Operation führen, die durch eine zervikale Bandscheibenprothese verzögert werden kann (Zhong et al. 2016). Diese möglichen Auswirkungen müssen in Langzeitstudien mit einem längeren Follow up geprüft und fachlich beurteilt werden. Für den aktuellen Zeitpunkt jedoch bestätigen die Patientenuntersuchungen eine optimale Therapie der präoperativ vorherrschenden Problematik.

6.2.2. Bisegmentale ventrale Spondylodese

Patienten mit einer bisegmentalen Spondylodese berichteten langfristig über eine deutliche Verringerung der Schmerzen und Sensibilitätsstörungen. Nur der Anteil an Zervikobrachialgien zeigte sich in den Nachkontrollen zwischen 3 – 5 Jahren wie bei den Patienten mit monosegmentaler Spondylodese mit 10,6% Zunahme gegenüber dem präoperativen Ausgangswert leicht erhöht. Auch hier könnte die Ursache wie bei den monosegmental versorgten Patienten in der Zunahme der knöchernen Degeneration mit draus folgender Irritation der Nervenwurzeln liegen. Insgesamt

zeigt sich somit, dass es hinsichtlich der klinischen Ergebnisse keine Unterschiede zwischen mono- und bisegmentaler Spondylodese gibt. Auch andere Studien wie die Kurzzeitstudie von Chien et al. (2016) und die Langzeitstudie von Yu et al. (2014) an 248 Patienten stellten fest, dass sowohl eine mono- als auch eine bisegmentale ventrale Spondylodese die präoperative klinische Symptomatik vermindert und es keine Unterschiede im klinischen Outcome in Abhängigkeit von der Anzahl der operierten Segmente gibt.

Bei der Untersuchung der Zeichen einer Anschlussdegeneration ließ sich feststellen, dass in der Gruppe mit bisegmentaler ventraler Spondylodese geringere Degenerationsprozesse bezüglich des Osteophytenwachstums zu verzeichnen waren, als bei einer monosegmentalen Versorgung. Nur der Osteophyt im kaudalen Segment an der posterioren Wirbelkante, der sich distal zur operativen Versorgung befand, wies die stärkste Degeneration im Vergleich zu allen anderen Gruppen auf. Zudem stellte sich der Osteophyt im kranialen Segment an der anterioren Wirbelkante mit einer annähernd gleich starken Größenzunahme wie bei monosegmentaler Versorgung dar. Der McAfee Score und die Abnahme der Zwischenwirbelraumhöhe erwies sich bei Patienten mit bisegmentaler Spondylodese im kaudalen Segment gegenüber jenen mit monosegmentaler Fusion erhöht. Die Verkalkungsraten des Lig. longitudinale anterius stellten sich nur leicht vermindert gegenüber der Gruppe mit monosegmentaler Spondylodese und erhöht gegenüber Patienten mit Bandscheibenprothese dar.

Die Betrachtung der radiologischen Ergebnisse bietet kein einheitliches Bild über die Vor- und Nachteile in Abhängigkeit von der Anzahl der operierten Segmente. Keine der Operationsverfahren kristallisiert sich als die bessere Variante heraus. Auch die Literaturrecherche konnte hierfür keine eindeutigen Ergebnisse liefern. So ergaben sich in einer Arbeit von Park et al. (2010) zur Evaluation von mono- und bisegmentalen Fusionen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen sowohl hinsichtlich Komplikationen als auch der Anschlussdegenerationen in Form von Ossifikationen in den angrenzenden Segmenten. Eine weitere Arbeit von Moatz und Tortolani (2012) hingegen beschreibt, dass das Risiko für eine Anschlussdegeneration in Folge einer multisegmentalen Fusion von Wirbelkörpern signifikant geringer ist als für eine monosegmentale.

Zur Verhinderung von Anschlussdegenerationen spielen vor allem die biomechanischen postoperativen Aspekte eine entscheidende Rolle. Bezüglich dieser Aspekte finden sich in der Literatur einheitliche Evaluationen, die von einer verminderten ROM bei bisegmentaler gegenüber monosegmentaler Spondylodese berichten (Chien et al. 2015 und 2016).

Es lässt sich schlussfolgern, dass aus dieser Arbeit und den vorliegenden Studien zwar eine einheitliche Meinung hinsichtlich der Verbesserung klinischer Outcomes bei mono-, bi- und multisegmentalen ventralen Fusionierungen sowie der Verminderung der ROM mit steigender Anzahl fusionierter Segmente hervorgeht, jedoch unterschiedliche Ergebnisse zur Anschlussdegeneration beschrieben werden.

Da sowohl die mono- als auch die bisegmentale Spondylodese gute klinische Ergebnisse liefert ergibt sich, dass beide Verfahren eine bewährte Methode zur Verbesserung zervikaler Symptomatik darstellen. Konkrete statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich der Auswirkungen auf die benachbarten Segmente ließen sich nach 5 Jahren nicht evaluieren. Zudem spielen hier auch altersbedingte Degenerationsvorgänge eine entscheidende Rolle, die nicht mit der Anzahl der operierten Segmente korrelieren. Die definitiven Auswirkungen auf die anschließenden Segmente in Abhängigkeit von der Anzahl der operativ versorgten Segmente müssen in einer erneuten Langzeitstudie mit einer größeren Probandenanzahl und gleichen Grundvoraussetzungen wie Alter, Erkrankungs-genese, Nebenerkrankungen und Lebensstil, sach- und fachgerecht beurteilt werden.

6.2.3. Monosegmentale zervikale Bandscheibenprothese

Patienten mit monosegmentaler zervikaler Bandscheibenprothese weisen 5 Jahre postoperativ in fast allen bildmorphologischen Analysen geringere Degenerationszustände als in dem Patientenkollektiv mit ventraler Fusion auf. Sowohl die Abnahme der Zwischenwirbelraumhöhe, der Anteil an Neukalzifizierungen des Lig. longitudinale anterius als auch der McAfee Score stellen sich in einem geringeren Degenerationszustand dar. In die anschließenden Bandscheibenfächer ragten lediglich geringe knöcherne Ausziehungen hinein, die jedoch zu keiner knöchernen Brückenbildung führten. Auffällig gestaltete sich die Analyse des McAfee Scores im operativ versorgten Segment. Es zeigte sich eine

progrediente Ossifikation mit Überbrückung der eingebrachten Prothese. Auch eine aktuelle Meta-Analyse berechnete eine Prävalenz dieser heterotopen Ossifikation implantierter Bandscheibenprothesen von 44,6% der Patienten 12 Monate nach zervikaler Endoprothetik. Diese stieg nach 24 Monaten auf 58,2 % (Chen et al. 2012).

Diese Ergebnisse deuten auf eine progrediente Fusionierung der benachbarten Wirbelkörper hin, die langfristig zur Minderung der segmentalen Beweglichkeit bis zur völligen Versteifung führen kann. Daraus könnte wie bei den Patienten mit ventraler Spondylodese eine erhöhte Belastung mit progredienten degenerativen Prozessen in den Anschlusssegmenten resultieren. Inwiefern sich diese verzögerte Versteifung auf die angrenzenden Segmente auswirkt, muss über einen längeren Zeitraum beobachtet werden. Es liegt die Vermutung nahe, dass sich ab dem Zeitpunkt der völligen Überbrückung der Prothese ebenfalls beschleunigte degenerative Prozesse in den Anschlusssegmenten ergeben. Hierbei stellt sich die Frage, ob eine prothetische Versorgung Anschlussdegenerationen tatsächlich vermindert oder ggf. nur verzögert. Nach welchem Zeitraum bzw. ob überhaupt eine völlige Versteifung nach monosegmentaler Bandscheibenprothesenimplantation zu erwarten ist, muss in Studien mit einem längeren Follow up evaluiert werden.

Bis dato kann jedoch davon ausgegangen werden, dass aufgrund der verminderten Ausbildung von Osteophyten – bis auf eine Ausnahme (kaudales Segment, posteriorer Osteophyt, proximal) – keine Überbelastung in den angrenzenden Segmenten aufgrund einer Bewegungseinschränkung vorliegt. Eine Studie die ebenfalls ein vermehrtes Wachstum eines einzelnen Osteophyten beschreibt, liegt nicht vor. Auch biomechanisch konnten keine Gründe gefunden werden, die dieses Ergebnis erklären. Sollten künftige Studien ebenfalls nicht zu einem derartigen Ergebnis kommen, muss davon ausgegangen werden, dass es sich um einen Zufallsbefund handelt.

Eine Erhebung der klinisch dokumentierten Untersuchungen erbrachte 5 Jahre postoperativ eine Verminderung der Schmerzen gegenüber dem präoperativen Zustand. Befragungen und Untersuchungen bezüglich Zervikobrachialgien und Sensibilitätsstörungen ergaben in der Zusammenfassung der Nachkontrollen zwischen 3 und 5 Jahren eine Verminderung von 34,1% bzw. 29,3% und erbrachten somit gute Langzeitergebnisse. Dies sind gute klinische Ergebnisse für die

ProDisc® C und ROTAIO® Bandscheibenprothesen, die nicht nur die Kurzzeitstudien von Nabhan et al. (2007b), Delamarter et al. (2010) und Obernauer et al. (2016) bestätigen, sondern auch noch die Stabilität dieser Ergebnisse über einen Zeitraum von 5 Jahren nachweisen. Zusammengefasst konnte Nabhan et al. (2007b) in einer 3 Monats Studie mit 25 Patienten mit ProDisc® C eine signifikante Reduktion der Nacken- und Armschmerzen sowie einen Erhalt der segmentalen Beweglichkeit der HWS 6 Monate nach Implantation der Bandscheibenprothese beweisen. Auch Delamarter et al. (2010) evaluierte in einem 24-Monats Follow up eine Verbesserung des NDI und der VAS. Die bisher einzige veröffentlichte Studie zu Behandlungserfolgen der ROTAIO® Prothese von Obernauer et al. (2016) beschreibt anhand eines 24-Monats Follow up eine signifikante Verbesserungen des NDI und der VAS 6 Monate nach Implantation dieser Bandscheibenprothese.

Mit Hilfe dieser Arbeit konnte somit eine geringere Anschlussdegeneration nach monosegmentaler Bandscheibenprothesenimplantation im Vergleich zur Spondylodese bestätigt werden. Zusammen mit den guten klinischen Ergebnissen konnte somit eine Verbesserung der modernen Operationsmethode evaluiert werden. Verminderte degenerative Prozesse können auch langfristig eine neue HWS-Symptomatik in den benachbarten Segmenten verhindern und damit gegebenenfalls die Anzahl notwendiger Zweitoperationen vermindern. Hierfür erscheint es notwendig, ein Langzeit Follow up mit dieser konkreten Fragestellung zu erheben.

6.2.4. Bisegmentale zervikale Bandscheibenprothese

Patienten der Gruppe mit bisegmentaler zervikaler Bandscheibenprothese zeigten 5 Jahre postoperativ ebenso wie Patienten der Gruppe mit monosegmentaler Versorgung geringere bildmorphologische Degenerationszustände als in den Fusionsgruppen. Hier zeigten sich vor allem eine geringere Höhenminderung der anschließenden Bandscheibenfächer sowie ein geringeres Osteophytenwachstum. Ausgenommen sei hierbei der posteriore Osteophyt im kranialen Anschlusssegment, welcher sich proximal zur prothetischen Versorgung befindet und einen stärkeren Größenzuwachs als in den Fusionsgruppen aufweist. Eine definitive Ursache konnte nicht evaluiert werden und muss in weiteren Studien erneut überprüft werden. In Bezug auf die Raten an Neuverkalkungen (20%) ließen sich hier sogar die besten Langzeitergebnisse ermitteln.

Zusammenfassend ergaben sich anhand der Aufarbeitung der radiologischen Messwerte ähnliche und zum Teil sogar bessere Ergebnisse hinsichtlich der Anschlussdegeneration bei Patienten mit bisegmentaler Bandscheibenprothesenimplantation im Vergleich zur monosegmentalen. Diese Ergebnisse liefern Hinweise, dass eine Bandscheibenprothesenimplantation unabhängig von der Anzahl der versorgten Segmente zu einer Verminderung der degenerativen Prozesse im Vergleich zur Fusionierung führt. Degenerationsbedingte Folgeoperationen in den Anschlusssegmenten könnten durch diese Intervention wahrscheinlich verringert werden.

Auffällig gestaltete sich die Analyse der klinisch dokumentierten Untersuchungen der Patienten. Mit einem durchschnittlichen subjektiven Schmerzempfinden von 5 auf der NRS nach 5 Jahren, einem Anteil von 60% Zervikobrachialgien und 75% Sensibilitätsstörungen 3-5 Jahre postoperativ, ergab sich hier die schlechteste klinische Symptomatik. Publierte Studien zeigten hier jedoch deutliche Widersprüche auf. So konnte ein systematischer Review von Kepler et al. (2012) mit der Aufarbeitung von 7 Studien zum Vergleich von mono- und multisegmentalen Bandscheibenprothesenimplantationen keine signifikanten Unterschiede für den Gesamterfolg, den NDI, den SF-36 Resultaten und der Patientenzufriedenheit feststellen. Ebenso ergab eine weitere klinische Studie für Patienten mit mono- oder multisegmentaler Bandscheibenprothesenversorgung ähnlich gute bis sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der subjektiven Bewertung des Operationserfolges (Odom's Kriterien) sowie gleich gute neurologische Ergebnisse (Goffin et al. 2010). Einzig eine prospektive Studie von Pimenta et al. (2007) erwies anhand einer Population von 229 Patienten bessere klinische Ergebnisse für die VAS, den NDI und die Odom's Kriterien nach einer Versorgung der HWS mit multiplen Prothesen im Vergleich zur monosegmentalen Versorgung.

Letztendlich finden sich jedoch keine Studien mit ähnlichen klinischen Ergebnissen wie in der vorliegenden Arbeit. Möglicherweise sind die abweichenden Ergebnisse der Patientengruppe mit bisegmentaler zervikaler Bandscheibenprothesenimplantation auf die geringe Anzahl auswertbarer Patientendaten (n=4 (Sensibilitätsstörungen); n=5 (Zervikobrachialgien und VAS)) in dieser Gruppe zurückzuführen. Die aktuelle klinische Symptomatik anhand von 4 bzw. 5 Patienten scheint keine objektiven Ergebnisse zu liefern. Zudem ergibt sich, dass es anhand

der bildmorphologischen Betrachtung keine Korrelate für die verstärkte klinische Symptomatik gibt. Eine erneute Langzeitstudie mit einer größeren Probandenanzahl könnte hier Aufschluss über die Gültigkeit der Ergebnisse liefern.

6.3. Ergebnisse der radiologischen und klinischen Outcomes

6.3.1. Osteophytenwachstum

Bei allen Osteophytenlokalisationen konnte in jeder Patientengruppe ein progredientes Wachstum in dem Nachuntersuchungszeitraum von 5 Jahren festgestellt werden. Hieraus ergibt sich, dass trotz Erhalt der physiologischen Bewegung der HWS, die in Studien von Nabhan et al. (2007a) und Lee et al. (2014) evaluiert wurde, eine Anschlussdegeneration nicht verhindert werden kann.

Im kranialen Anschlusssegment stellten sich die Osteophyten an der anterioren Wirbelkante sowohl proximal als auch distal zum operierten Segment mit einem signifikant verstärkten Wachstum für Patienten mit einer Platten-Schrauben-Spondylodese im Vergleich zur zervikalen Bandscheibenprothese dar. Für die an der posterioren Wirbelkante positionierten Osteophyten im kranialen Anschlusssegment ergaben sich zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede.

Im Gegensatz zum kranialen Anschlusssegment zeigten im kaudalen nur die posterioren Osteophyten einen signifikanten Unterschied in ihrer Größenzunahme zwischen den Gruppen. Anders als hypothetisch erwartet, war das Wachstum des posterioren Osteophyten, der sich proximal zum operierten Segment befindet, ab einem Nachuntersuchungszeitraum von 2 Jahren am stärksten in der Gruppe mit monosegmentaler zervikaler Bandscheibenprothese. Bei dem posterioren Osteophyten, der sich distal zum operierten Segment befindet, konnte die definierte Hypothese hingegen wieder bestätigt werden. Das mittlere Wachstum zeigte sich bereits ein halbes Jahr postoperativ in der Gruppe mit bisegmentaler Platten-Schrauben-Spondylodese mit einem Zuwachs von 0,35 mm gegenüber allen anderen Gruppen signifikant erhöht. Am Ende des Follow up von 5 Jahren trat in dieser Gruppe eine fast 4-fach stärkere Größenzunahme als bei den Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese auf. Bei den anterioren Osteophyten im kaudalen Segment ergaben sich statistisch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Dennoch zeigte sich jeweils die maximale Größenzunahme in den Gruppen mit monosegmentaler ventraler Spondylodese.

Zusammenfassend ergab sich aus den Auswertungen der seitlichen Röntgenbilder ein signifikant verstärktes Wachstum sämtlicher anteriorer Osteophyten im kranialen und des distal zum operierten Segment gelegenen posterioren Osteophyten im kaudalen Anschlusssegment für die Patienten mit einer ventralen Spondylodese. Ähnliche Ergebnisse finden sich auch in den Analysen von Sangsari-Wahlster (2009). Dieser evaluierte in einer 4-Jahres Studie mit 47 Patienten ein Neuauftreten von Osteophyten in der Gruppe mit zervikaler Bandscheibenprothese vom ProDisc C® Typ von nur 20% sowie eine verminderte Zunahme der Osteophytengröße. In der Vergleichsgruppe mit ventraler Fusion war die Zunahme der Osteophytengröße erhöht und es zeigte sich eine höhere Rate an Neubildungen bei den Patienten (80%).

Es ergibt sich aus der vorliegenden Studie, dass durch Implantation einer Bandscheibenprothese zur Verbesserung der klinischen HWS-Symptomatik, einer Fusionierung der Segmente und somit einer erhöhten Belastung angrenzender Segmente mit daraus schlussfolgernder knöcherner Verbreiterung der Grund- und Deckplatten (osteophytärer Anbau) (Kepler und Hilibrand 2012, Rihn et al. 2009, Prasarn et al. 2012, Levin et al. 2007) entgegengewirkt werden kann. Basierend auf den theoretischen Grundlagen erweist sich diese Annahme durch die geringere Ausbildung von Osteophyten bei Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese als bestätigt. Derzeit liegen nur sehr wenige Studien mit radiologischen Untersuchungen der Zeichen einer Anschlussdegeneration für den Einsatz zervikaler Bandscheibenprothesen vor. Um die erarbeiteten Annahmen zu unterstützen, sind weitere Studien zu dieser Fragestellung notwendig.

Zur Verhinderung neuer zervikobrachialer, zervikozephaler und zervikomedullärer Symptomatik durch Kompression der Spinalnerven, der A. vertebralis oder dem Myelon in den anschließenden Segmenten, erscheint ein vermindertes Wachstum der posterioren Osteophyten von besonderer Relevanz. Während sich im kranialen Segment diesbezüglich keine Unterschiede zwischen den Segmenten ergaben, lagen im kaudalen Segment kontroverse Ergebnisse vor. Distal zum operierten Segment zeigte sich hier eine Verbesserung durch Bandscheibenprothesenimplantation, während proximal sogar eine verstärkte Degeneration im Vergleich zur ventralen Spondylodese festzustellen war. Damit kristallisiert sich für dieses Outcome keine der Operationsmethoden als bessere Variante heraus. Hingegen

kann die Analyse des Wachstums der anterioren Osteophyten im kranialen Anschlusssegment durchaus verbesserte Ergebnisse einer zervikalen Bandscheibenprothesenimplantation im Vergleich zur Spondylodese aufzeigen. Zervikale anteriore Osteophyten können bei massivem Wachstum zur Kompression des Larynx, des Ösophagus und der Trachea mit daraus resultierender Dysphagie, Dyspnoe, Dysphonie und Odynophagie führen (Varsak et al. 2014, Akhaddar und Zalagh 2014). Auch wenn keiner der hier untersuchten Patienten von einer derartigen Symptomatik berichtete, erscheint es dennoch sinnvoll diese zu verhindern. Hier ergaben sich durch eine operative Versorgung mit Bandscheibenprothesen die besseren Langzeiterfolge im Vergleich zur Spondylodese.

6.3.2. Höhenminderung des Zwischenwirbelraums

Aus der Erhebung der Daten geht hervor, dass sowohl die kranialen als auch die kaudalen Zwischenwirbelräume annähernd ähnliche präoperative Höhen aufweisen. In umfangreichen Literaturrecherchen konnte keine Studie gefunden werden, die Normwerte der zervikalen Zwischenwirbelraumhöhe evaluiert. In sämtlichen wissenschaftlichen Arbeiten wird ausschließlich davon berichtet, dass sich die Degeneration einer Bandscheibe, im Vergleich zu einer gesunden Bandscheibe, in einem verschmälerten Zwischenwirbelraum darstellt (Raj 2008, Palepu et al. 2012, Adams und Roughley 2006). Eine entsprechende Studie zu altersabhängigen Zwischenwirbelraumhöhen könnte hier Klarheit über die Normwerte bringen.

Auffällig ist, dass in allen Patientengruppen die Zwischenwirbelräume postoperativ vergrößert sind. Der Grund hierfür liegt wahrscheinlich in der operativen Aufrichtung der Halswirbelsäule im Rahmen der Distraction und der Anspannung der Längsbänder. Die Bandscheibe erfährt hierdurch eine Entlastung mit Volumenzunahme. Dabei handelt es sich jedoch nur um einen vorübergehenden perioperativen Zustand. In einer Kontrolluntersuchung nach einem halben Jahr zeigten sich in allen Gruppen Werte, die den präoperativen Ausgangszustand unterschritten.

Insgesamt ist festzustellen, dass nach einem Untersuchungszeitraum von 5 Jahren die Abnahme der Zwischenwirbelraumhöhe in den Anschlusssegmenten in den Gruppen mit zervikaler Bandscheibenprothese mit maximal 0,9 mm gegenüber der in

den Fusionsgruppen mit bis zu 1,3 mm vermindert ist. Eine Ausnahme ergab sich lediglich im kaudalen Segment für die Gruppe mit monosegmentaler ventraler Spondylodese, welche annähernd den gleichen Verlauf wie in den Prothesengruppen zeigte. Eine mögliche Ursache hierfür könnte die geringere axiale Druckbelastung einer monosegmentalen Spondylodese im Vergleich zur bisegmentalen aufgrund einer kürzeren fusionierten Strecke sein.

Sowohl durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit als auch jener von Sangsari-Wahlster (2009), der eine verstärkte Höhenabnahme im kranialen Anschlusssegment für Patienten mit Spondylodese im Vergleich zu Patienten mit Bandscheibenprothese evaluierte, liegt die Vermutung nahe, dass eine gesteigerte Abnahme der Zwischenwirbelraumhöhe als Zeichen einer biomechanischen Funktionsstörung der angrenzenden Wirbelsegmente zu werten ist. Diese gestörte Biomechanik durch Fusionierung von Wirbelsegmenten mit einer Verminderung der ROM (Sasso et al. 2007) führt zu einer erhöhten Druckbelastung in den angrenzenden Bandscheibenfächern (Rosenthal 2013, Chang et al. 2007). Folglich kann sich das Volumen der Bandscheibe nicht regenerieren. Es kommt zu einer progredienten Dehydrierung der Bandscheibe und einer daraus resultierenden Verminderung der Zwischenwirbelraumhöhe. Dieses Ergebnis konnte in dieser Arbeit für Patienten mit monosegmentaler Fusion im kranialen und für Patienten mit bisegmentaler Fusion sowohl im kranialen als auch im kaudalen Anschlusssegment evaluiert werden. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die Druckbelastung auf die angrenzenden Bandscheiben mit der Länge der Fusionsstrecke zunimmt, da Patienten mit monosegmentaler Spondylodese im kaudalen Anschlusssegment keine verstärkte Höhenminderung aufzeigten.

Bandscheibenprothesen ermöglichen den Erhalt der physiologischen Beweglichkeit und vermindern damit die Belastung auf die Bandscheiben in den angrenzenden Segmenten mit einer hieraus resultierenden Möglichkeit der Regeneration dehydrierter Bandscheiben und einer Verminderung beschleunigter degenerativer Prozesse. Ein Vorteil der operativen Versorgung mit Bandscheibenprothesen aufgrund einer verminderten Höhenabnahme der ZWR konnte somit bestätigt werden.

6.3.3. Verkalkung des Lig. longitudinale anterius

Basierend auf der Grundlage, dass sich degenerative Prozesse in den Wirbelsegmenten durch die Verkalkung der Längsbänder röntgenologisch darstellen, wurde für diese Studie das anteriore Längsband als Outcome gewählt, da eine Kalzifizierung dieses Bandes in den Röntgenbildern sehr gut zu erkennen ist (Mizuno et al. 2005).

Sowohl im kranialen als auch im kaudalen Anschlusssegment konnten in den Gruppen mit Spondylodese größere Raten an Verkalkungen des Lig. longitudinale anterius als in den Gruppen mit prothetischer Versorgung gefunden werden.

Die Implantation einer Bandscheibenprothese stellt in Zusammenschau der hier erhobenen Ergebnisse eine Verbesserung der Therapiemethode im Vergleich zur Fusionierung dar. Auch wenn die Verkalkung des Lig. longitudinale anterius im Gegensatz zum Lig. longitudinale posterius nicht zu neurologischen Komplikationen wie Radikulopathien oder Myelopathie führt, könnten sich dennoch symptomatische Erkrankungen durch Kompression des Ösophagus und der Trachea entwickeln (Mizuno et al. 2005). Auch wenn aus den Berichten und den Dokumentationen der Kontrolluntersuchungen der Patienten aus der vorliegenden Studie kein Anhalt für eine derartige Problematik hervorging, erscheinen Komplikationen wie Aspirationspneumonien oder Dysphagien für durchaus denkbar. Inwiefern diese Probleme tatsächlich auftreten, muss in einer Studie zu dieser konkreten Fragestellung evaluiert werden.

6.3.4. Bandscheibendegeneration anhand des McAfee Scores

Mit Hilfe des modifizierten McAfee Score Systems (McAfee et al. 2003) konnte der Degenerationszustand im betroffenen Segment präoperativ, sowie nach der Versorgung mit zervikaler Bandscheibenprothese definiert werden. Der ursprüngliche Gedanke dieses Systems für die Anwendung im operativ versorgten Segment wurde erweitert und zudem auch für die Anschlusssegmente angewandt. Die operierten Segmente selbst wurden nur bei Prothesenimplantation bewertet, da hier einer Verknöcherung entgegengewirkt werden und die Beweglichkeit des Segmentes erhalten bleiben soll. Hingegen bei operativer Versorgung mittels Fusion wird durch zusätzliche Implantation eines autologen Knochentransplantates eine frühzeitige Verknöcherung und damit Versteifung des Segmentes angestrebt.

Präoperativ zeigten sich bei Patienten mit späterer Indikation einer monosegmentalen zervikaler Bandscheibenprothese knöcherne Formationen im intervertebralen Raum mit daraus resultierender minimaler Verminderung der ROM. Beide Segmente der Patienten mit anschließender bisegmentaler Versorgung mit zervikalen Bandscheibenprothesen zeigten präoperativ bereits eine knöcherne Brückenbildung, die jedoch noch eine Restbeweglichkeit dieses Segmentes zuließ. Durch die operative Versorgung kam es in allen Segmenten postoperativ zur Verbesserung des Degenerationszustandes. Es zeigten sich lediglich kleine Osteophyten im intervertebralen Raum ohne jegliche Artikulation zwischen den Grund- und Deckplatten, sodass durch den Einsatz einer zervikalen Bandscheibenprothese hier eine optimale Verbesserung degenerativer Prozesse erreicht werden konnte. Im Verlauf der Nachuntersuchungen musste jedoch festgestellt werden, dass es zu einer progredienten Verknöcherung der operierten Segmente kam. 5 Jahre postoperativ zeigte sich eine komplette knöcherne Überbrückung der operativ versorgten Segmente ohne vorhandene Restbeweglichkeit.

Die heterotope Ossifikation nach zervikaler Bandscheibenprothese stellt eine dem Implantatdesign zuzurechnende mögliche Komplikation dar, die durch McAfee et al. (2003) beschrieben wurde. Für die ProDisc® C ergab sich in einer Studie von Mehren et al. (2006) mit 26 behandelten Segmenten und einem Follow up von einem Jahr mit 39% am häufigsten Grad 2 der Klassifikation heterotoper Ossifikationen. Dies bedeutet, dass zwar Osteophyten mit neuer knöcherner Formation im intervertebralen Raum vorhanden waren aber keine Artikulation zwischen den angrenzenden Endplatten bestand. In 10,4% kam es zur Einschränkung der Bewegungsfreiheit und in 9,1% zu spontanen Fusionen. Anders als in der vorliegenden Studie, bei der nach einem Jahr bereits eine Degeneration von Stufe 3 – 4 festgestellt wurde, stellte sich somit ein geringerer degenerativer Zustand dar. Allerdings konnte in der vorliegenden Studie kein Fall von spontaner Fusion eruiert werden. Um definitive Aussagen bezüglich dieser unterschiedlichen Ergebnisse treffen zu können, sollten zukünftig weitere Langzeitstudien mit Erhebung des McAfee Scores durchgeführt werden. Ein wichtiger Hinweis in der Arbeit von Mehren et al. (2006) war die Überlegung der postoperativen Anwendung von NSAR um, wie auch in der Hüftprothetik angewendet (Beck et al. 2005), diese Ossifikationen zu vermeiden.

Auch wenn die Studienlage bisher nur Kurzzeituntersuchungen zur heterotopen Ossifikation prothetisch versorgter Segmente aufweist, kann hier bereits eine Tendenz der Verknöcherung dieser Segmente beobachtet werden. Im Vergleich zur operativen Fusionierung der Segmente kann durch Behandlung der zervikalen Symptomatik mit Prothesen die physiologische Beweglichkeit der Segmente länger erhalten, jedoch deren Verminderung nicht langfristig verhindert werden. Die vermehrte Belastung der anschließenden Wirbelsegmente, die in Studien zur Fusionstherapie beobachtet wurde (Rosenthal 2013, Chang et al. 2007), kann durch diese moderne Operationsmethode allenfalls hinausgezögert werden. Daraus resultiert mindestens für einige Jahre, eine annähernd normale physiologische Belastung in den Anschlusssegmenten, die eine Anschlussdegeneration, wie in dieser Studie evaluiert, sowie die Notwendigkeit von Folgeoperationen aufgrund von erneuter klinischer Symptomatik benachbarter Segmente verringert. Gefestigt werden können diese Ergebnisse durch eine Metaanalyse von 8 prospektiven Studien, die bei Patienten mit Fusionierung 24 Monate nach der Operation eine deutlich höhere Rate von Anschlussdegenerationen und Folgeoperationen in den benachbarten Segmenten im Vergleich zu Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese ergab (Luo et al. 2015).

Heterotope Ossifikationen, die eine eingeschränkte Beweglichkeit oder gar eine Fusion verursachen, bleiben ein bisher ungelöstes Problem. Ob Maßnahmen wie die postoperative Gabe von NSAR dieses Problem vermindern können, bleibt abzuwarten. Auch stellt sich die Frage, ob sich ab dem Zeitpunkt der vollständigen knöchernen Überbrückung der Prothesen in den Anschlusssegmenten die gleichen beschleunigten degenerativen Prozesse abspielen wie bei operativer Spondylodese. Dies muss in Langzeitstudien überprüft werden. Hierbei sollten nach Möglichkeit Patienten mit knöcherner Überbrückung der Prothese mit jenen mit operativer Versteifung verglichen werden. Zudem sollten weitere Maßnahmen erforscht und etabliert werden, die eine heterotope Ossifikation des operierten Segmentes verringern.

In modifizierter Weise fand zudem auch die Bestimmung des Ossifikationszustandes als Zeichen der Degeneration in den Anschlusssegmenten statt. Anhand der bildmorphologischen Analysen stellte sich bei den Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese im Untersuchungszeitraum keine Veränderung dieses

Zustandes im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert dar. Wichtig erscheint hier die Feststellung, dass sich der präoperative Degenerationszustand verstärkt im Vergleich zu Patienten mit anschließender Indikation zur Spondylodese darstellte. Die Ursache hierfür ist schnell zu erörtern. Während alle Patienten mit Indikation einer operativen Versorgung mittels Bandscheibenprothese aufgrund von degenerativ bedingter zervikaler Symptomatik vorstellig wurden, stellte sich bei den Fusionspatienten in über 70% die Indikation aufgrund einer traumatisch bedingten Genese. Da sich unter diesen Patienten auch viele junge befanden, die vor ihrem Trauma über keine degenerationsbedingten zervikalen Beschwerden klagten, ist dies als Ursache des verminderten degenerativen präoperativen Zustandes zu werten. Hingegen erscheint es umso entscheidender, den postoperativen Verlauf zu erörtern. Hier zeigte sich bei den Patienten mit Spondylodese im Gegensatz zu jenen mit Bandscheibenprothese eine progrediente Zunahme der Degeneration in den Anschlusssegmenten.

Schlussfolgernd ergibt sich, dass nicht der präoperative Ausgangszustand ursächlich für den weiteren Verlauf degenerativer Prozesse ist, sondern die Operationsmethode. Die Implantation von Bandscheibenprothesen konnte nachweislich die Zunahme degenerativer Prozesse in den Anschlusssegmenten verhindern. Bei frühzeitiger therapeutischer Intervention mit zervikalen Prothesen in einem noch wenig fortgeschritten degenerativen Stadium könnte somit langfristig die Ossifikation in den Anschlusssegmenten im Gegensatz zur ventralen Spondylodese vermindert werden. Ob diese Hypothese auch global gesehen zutrifft, sollte bei Patienten mit einem präoperativ geringeren Degenerationszustand evaluiert werden. Möglicherweise könnte sich diese Forschungsgrundlage jedoch als problematisch herausstellen, da ärztlicher- und patientenseits eine Indikation zur operativen Therapie erst mit zunehmenden degenerativen Korrelaten und klinischer Symptomatik gestellt wird.

6.3.5. Klinische Ergebnisse

Bezüglich der Beseitigung von Zervikobrachialgien und Schmerzen zeigen prospektiv randomisierte Studien mit Bandscheibenprothese im Vergleich zur Fusion ähnlich gute (Delamarter et al. 2010) oder sogar bessere Ergebnisse (Sasso et al. 2007). Diese hervorragenden klinischen Outcomes konnten in den Studien von Nabhan et

al. (2007b), Loumeau et al. (2016) und der vorliegenden Arbeit – ausgenommen Patienten mit bisegmentaler Bandscheibenprothese – bestätigt werden.

In der vorliegenden Studie kam es postoperativ in allen Gruppen zu einer deutlichen Minderung der Zervikobrachialgien im Vergleich zur präoperativen Situation. Die Indikation einer operativen Intervention stellt sich damit als gerechtfertigt heraus. Mit einer signifikant geringeren Rate von nur 0 – 6,3% der Patienten mit ventraler Spondylodese mit direkt postoperativen Zervikobrachialgien im Vergleich zur Prothesenimplantation, kann diese Operationsmethode ihren Standpunkt als „Goldstandard“ (Quinn et al. 2015) auch heute noch vertreten. Dennoch zeigten auch die Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese eine Verringerung dieser Symptomatik um 42,9 - 71,4%, was ebenso für eine gute therapeutische Intervention spricht. Ausschlaggebend ist, dass bereits präoperativ aufgrund des größeren Anteils an Patienten mit degenerativen Beschwerden mehr Patienten mit anschließender Indikation zur zervikalen Bandscheibenprothese über eine derartige Symptomatik klagten. In der Gruppe mit bisegmentaler prothetischer Versorgung berichteten sogar alle 7 Patienten über präoperative Zervikobrachialgien. In den Gruppen mit anschließender Fusionierung der HWS-Segmente, stellten sich über 70% der Patienten aufgrund von traumatisch bedingter zervikaler Symptomatik vor. Dass sich hieraus präoperativ ein geringerer Anteil von Patienten mit Zervikobrachialgien ergibt erscheint unumgänglich, da es vor allem degenerative Prozesse sind, die diese Symptomatik hervorrufen. Dennoch ergibt sich aus der Betrachtung der gesamten Datenerhebung zu zervikobrachialer Symptomatik, dass der Anteil derjenigen Personen, deren Symptomatik durch die operative Intervention vermindert werden konnte, bei den Patienten mit Bandscheibenprothesenimplantation größer ist. Basierend auf diesem Hintergrundwissen ergibt sich, dass die operative Intervention mit Bandscheibenprothesen ebenfalls eine optimale Therapie degenerativ bedingter HWS-Symptomatik darstellt. Beide Interventionsverfahren stellen vor dem Hintergrund einer Verminderung von Zervikobrachialgien eine gerechtfertigte Therapiemethode dar. Um auch in zukünftigen Studien eine bessere Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Therapiemethoden herzustellen, sollten alle Patienten die gleiche Genese der HWS-Symptomatik aufweisen.

Im Verlauf des Nachuntersuchungszeitraumes stellte sich in allen Gruppen eine Progredienz des Anteils der Patienten mit Zervikobrachialgien dar. Hier ergaben sich

3 – 5 Jahre postoperativ bei den Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese mit 42,1 – 60% die höchsten Raten an Zervikobrachialgien. Besonders in der Gruppe mit bisegmentaler prothetischer Versorgung erhöhte sich der Anteil der Patienten mit diesen Beschwerden um 31,4%. Eine mögliche Ursache für diesen hohen prozentualen Anteil könnte in der geringen Anzahl von verwertbaren Patientendaten (n=5) 5 Jahre postoperativ liegen. Es besteht die Wahrscheinlichkeit, dass gerade diese wenigen untersuchten Patienten über eine derartige Symptomatik verfügen. Ob diese Ergebnisse zufallsbedingt sind, muss in einer erneuten Überprüfung mit einem größeren Patientenkollektiv evaluiert werden. Betrachtet man nicht die Gruppen im Vergleich zu einander, sondern jede Gruppe für sich, so ist der Anteil der Zunahme von Zervikobrachialgien im Nachuntersuchungszeitraum bei Patienten mit monosegmentaler Prothese mit 8,8% am geringsten.

Letztendlich geht aus den Untersuchungen dieser Studie hervor, dass keine der operativen Therapiemethoden eine dauerhafte Reduktion von Zervikobrachialgien ermöglichen kann. Im Vergleich zur präoperativen Symptomatik können jedoch vor allem die Patienten mit degenerativ bedingter Indikation einer Bandscheibenprothese von dieser Therapie profitieren, da im Vergleich zum präoperativen Zustand auch nach 3 – 5 Jahren immer noch weniger Patienten über Zervikobrachialgien klagten. Patienten mit traumatischer oder degenerativer Genese der Indikation zur ventralen Platten-Schrauben-Spondylodese profitieren zwar kurzfristig gesehen in besonderem Ausmaß von dieser operativen Intervention, zeigen jedoch langfristig gesehen eine gegenüber dem präoperativen Ausgangszustand erhöhte Rate an Zervikobrachialgien. Eine Ursache liegt auch hier möglicherweise in den durch Fusion bedingten beschleunigten degenerativen Prozessen in den Anschlusssegmenten, die zu einer Irritation der Spinalnerven führen.

Bezüglich der NRS kam es postoperativ in allen Gruppen zu einer Verminderung des subjektiven Schmerzempfindens. Eine Verbesserung der Schmerzsymptomatik durch eine operative Intervention kann anhand dieser Arbeit bestätigt werden. Auch Delamarter et al. (2010) evaluierten in einem 24-Monats Follow up zur zervikalen Bandscheibenprothesenimplantation eine Verbesserung des NDI und der VAS. Anhand einer Kurzzeitstudie von Obernauer et al. (2016) konnte ebenso eine Verbesserung des NDI und der VAS 6 Monate nach Implantation der ROTAIO® Bandscheibenprothese mit 95,7% guten und sehr guten Ergebnissen evaluiert

werden. Parker et al. (2013) und Islam et al. (2012) bestätigten eine Reduktion der präoperativen Schmerz- und neurologischen Symptomatik im Langzeitverlauf zudem auch für Patienten mit ventraler Spondylodese.

Die einzigen signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen waren ein halbes Jahr postoperativ festzustellen. Hier gaben die Patienten mit monosegmentaler Bandscheibenprothesenimplantation mit einem Wert von 4 auf der NRS die stärksten Schmerzen an. Ursachen für dieses erhöhte Schmerzempfinden ausschließlich bei den Patienten mit monosegmentaler prothetischer Versorgung können auch aus der aktuellen Literatur (Delamarter et al. 2010, Obernauer et al. 2016, Nabhan et al. 2007b) nicht ermittelt werden. Hinzu kommen verschiedene Studien, die keinen Unterschied in den klinischen Ergebnissen in Abhängigkeit von der Anzahl der versorgten Segmente eruieren konnten (Goffin et al. 2010, Huppert et al. 2011, Kepler et al. 2012). Möglicherweise ist dieses verstärkte Schmerzempfinden dem Zufall zuzurechnen. Nur eine Studie von Pimenta et al. (2007) erbrachte ebenfalls bessere klinische Ergebnisse für Patienten mit multisegmentaler prothetischer Versorgung. Ob hier möglicherweise ein Zufallsbefund vorliegt, muss in einer erneuten Studie mit einer größeren Anzahl an Patienten untersucht werden.

Nach einem Untersuchungszeitraum von 5 Jahren zeigten sich die besten Ergebnisse hinsichtlich der Schmerzen in den Gruppen mit ventraler Spondylodese. Beide Patientengruppen mit Prothese gaben im Gruppenvergleich durchschnittlich stärkere Schmerzen an, auch wenn sich hier keine signifikanten Unterschiede ergaben. Für dieses Outcome ist es wichtig, die Genese der zur Operation führenden HWS-Symptomatik zu betrachten. Patienten mit Indikation zur zervikalen Bandscheibenprothese wurden alle aufgrund degenerativ bedingter HWS-Symptomatik vorstellig und es ist naheliegend, dass auch andere Bereiche der HWS degenerative Vorbefunde aufweisen, die Schmerzen verursachen können. Die Patienten mit Fusionierung, bei denen es sich zu einem hohen Anteil um jüngere Menschen handelt, zeigten in über 70% eine traumatische Genese der HWS-Symptomatik. Degenerative Vorschäden in den restlichen HWS-Segmenten die zu einer Schmerzsymptomatik führen, erscheinen somit als unwahrscheinlich und spiegeln sich auch langfristig in den Ergebnissen zur NRS wieder. Für die Annahme, dass dennoch aufgrund der Fusionierung der HWS-Segmente beschleunigte degenerative Prozesse in den Anschlusssegmenten stattfinden spricht, dass die

durchschnittliche Bewertung der Schmerzen anhand der NRS auch bei diesen Patienten über den Nachuntersuchungszeitraum von 5 Jahren stetig zunimmt. Unter Beachtung der präoperativen sowie der Ergebnisse nach 5 Jahren, ergibt sich für alle Patientengruppen eine Verbesserung der durchschnittlichen Werte auf der NRS. Eine operative Therapie mit beiden Operationsmethoden erscheint somit als empfehlenswert und sinnvoll. Lemaire et al. (2005), Islam et al. (2012) und Parker et al. (2013) bestätigten diese guten klinischen Ergebnisse anhand von Langzeitstudien für beide operative Verfahren.

Während präoperativ jeweils in den Gruppen mindestens 50% der Patienten über Sensibilitätsstörungen in Form von Parästhesien, Dysästhesien und Taubheitsgefühlen klagten, erwiesen sich diese nach der Operation in allen Gruppen auch langfristig deutlich regredient. Eine Ausnahme bildete die Gruppe mit bisegmentaler prothetischer Versorgung, die 3 – 5 Jahre postoperativ eine Progredienz der Symptomatik mit einem Anteil von 75% der Patienten aufzeigte. Hier muss die geringe Anzahl an Probanden betrachtet werden, bei der möglicherweise zufallsbedingt 3 von 4 Patienten eine derartige Symptomatik angaben. Wichtig erscheint eine erneute Evaluation anhand einer größeren Anzahl von Probanden. Für die anderen Gruppen ist festzustellen, dass sowohl eine Therapie mit Bandscheibenprothesen als auch eine Fusionierung der HWS-Segmente zur langfristigen Verbesserung von Sensibilitätsstörungen führt und damit eine operative Therapie rechtfertigt.

6.4. Limitationen der Studie

Die ungleichen Gruppengrößen stellen sich in dieser Arbeit als problematisch dar, sodass die Anzahl der Patienten in der Gruppe mit bisegmentaler zervikaler Bandscheibenprothese als einschränkend für die Beurteilung der Ergebnisse bewertet werden muss. Es ist zukünftig eine größere Anzahl an Patienten zu evaluieren, um die schlechteren klinischen Langzeitergebnisse in dieser Gruppe zu bestätigen oder zu widerlegen.

Weiterhin muss kritisch betrachtet werden, dass sich unter den 28 Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese nur 5 mit dem ROTAIO® System befinden und damit kein ausgewogenes Verhältnis vorliegt. Der Grund hierfür liegt in der geringen Rücklaufquote von nur 20% der Patienten mit ROTAIO® Bandscheibenprothese zu

den Nachkontrollen. Die ersten Datenerhebungen aller ROTAIO® Patienten gestalteten sich aufgrund einer hohen Zufriedenheit, wenig Schmerzen und seltenen Zervikobrachialgien sehr vielversprechend. Diese ersten Ergebnisse ließen sich jedoch aufgrund der erwähnten geringen Rücklaufquote nicht auf ihre Beständigkeit im Langzeitverlauf überprüfen. Die Vermutung liegt nahe, dass diese Patienten aufgrund von Beschwerdefreiheit nicht zu den Nachkontrollen erschienen. Die bisher einzige veröffentlichte Studie zu Behandlungserfolgen der ROTAIO® Prothese von Obernauer et al. (2016) zeigte eine Gesamtzufriedenheit von 95,7 % der Patienten sowie eine Reduktion des NDI und der VAS hinsichtlich des subjektiven Schmerzempfindens. In einer weiteren Studie ausschließlich zu Patienten mit ROTAIO® Versorgung sollte dieser Sachverhalt erneut überprüft werden.

Zur Komplettierung der Patientengruppe mit zervikaler Bandscheibenprothese wurden aufgrund der geringen Rücklaufquote bei den ROTAIO® Patienten, zusätzlich retrospektiv Patienten mit zervikaler ProDisc® C Prothese hinzugezogen. Zudem fand eine retrospektive Analyse von Patienten mit Platten-Schrauben-Spondylodese als Vergleichsgruppe statt. Bei diesen retrospektiven Analysen handelte es sich um ein heterogenes Patientengut mit ungleichmäßig verteilten Risikofaktoren und Erkrankungsursachen. Das zugrunde liegende Datenmaterial wurde zum größten Teil aus dokumentierten Untersuchungsakten erhoben, somit können Dokumentationsungenauigkeiten sowie subjektive Informationsfilterungen durch die jeweiligen Untersucher nicht ausgeschlossen werden.

Im Hinblick auf die retrospektive Auswertung der Patienten mit ProDisc® C und denen mit einer ventralen Platten-Schrauben-Spondylodese, konnten nur unzureichend und uneinheitlich dokumentierte klinische Funktionsüberprüfungen der Patienten zu den jeweiligen Nachkontrollzeiten gefunden werden. Dieses Outcome konnte somit nicht evaluiert werden. Ebenso wurden im Verlauf nur bei wenigen Patienten indizierte Funktionsaufnahmen angefertigt, sodass die Auswertung der ROM (Range of Motion) der HWS nicht möglich war. Da in der Literatur sehr viele Studien mit ähnlichen Ergebnissen zum Bewegungserhalt der Wirbelsegmente nach Bandscheibenprothesenimplantation zu finden sind, wurden diese Ergebnisse als gesichert gewertet (Nabhan et al. 2007a, Traynelis und Treharne 2007, Loumeau et al. 2016, Obernauer et al. 2016).

Eine weitere Limitierung dieser Studie ist, dass das kaudale Anschlusssegment C8/Th1 am thorakolumbalen Übergang aufgrund seiner differenzierten Morphologie, Biomechanik und unvollständigen Zugehörigkeit zur Halswirbelsäule aus den Analysen herausgenommen werden musste. Hieraus resultierte, dass sich die Anzahl der Patienten in den jeweiligen Gruppen zur Beurteilung der kaudalen Segmente reduzierte. In den Gruppen mit zervikaler Bandscheibenprothese handelte es sich jeweils um 4 Patienten sowie einem zusätzlichen Patienten mit sich kaudal anschließender ventraler Spondylodese, welcher somit nicht hinsichtlich der Anschlussdegeneration im kaudalen Segment beurteilt werden konnte. Bei der monosegmentalen Fusion traf dies in 5 Fällen und bei der bisegmentalen in 8 Fällen zu. Auch aus diesen Ausschlusskriterien und der damit verbundenen Verringerung der Patientenzahl ergibt sich die Notwendigkeit, jeweils eine größere Anzahl an Patienten in weitere Studien einzubeziehen.

Zur Beurteilung von bindegewebigen Strukturen ist die MRT der konventionellen Röntgendiagnostik überlegen und erlaubt somit eine bessere Beurteilung vor allem frühzeitiger Degenerationszustände. Die Patienten erhielten zwar präoperativ in den meisten Fällen eine MRT, aber nur sehr selten bzw. nur bei neu auftretenden Symptomen eine erneute postoperative MRT-Diagnostik. Dies begründet sich in den hohen Kosten sowie dem erhöhten Zeitaufwand gegenüber der Röntgendiagnostik. Aus diesem Grund konnten in dieser Studie zur Evaluierung der Anschlussdegenerationen im Langzeitverlauf nur konventionelle Röntgenbilder herangezogen werden. Eine MRT Langzeitstudie könnte sicherlich genauere Ergebnisse liefern, stellt jedoch einen Kostenfaktor dar.

Die Interpretation der radiologischen Ergebnisse erfolgte durch die Verfasserin und unterliegt somit, wie auch jede andere radiologische Beurteilung, einer subjektiven Deutung. Hinzu kommt, dass die Röntgenbilder zwar standardisiert erstellt worden sein sollen, dies aber retrospektiv nicht nachgewiesen werden kann. In Abhängigkeit von der genauen Entfernung zur Filmebene ergeben sich Vergrößerungen und geometrisch bedingte Verzerrungen. Zudem führt das konventionelle Standardverfahren immer zu einer überlagernden Darstellung der dreidimensionalen anatomischen Strukturen. Hieraus können Ungenauigkeiten der radiologischen Messwerte resultieren.

7. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser Arbeit führen zu der Schlussfolgerung, dass die operative Versorgung mit einer zervikalen Bandscheibenprothese durch den Erhalt der physiologischen Bewegung der HWS, Degenerationen in den Anschlusssegmenten im Vergleich zur ventralen Spondylodese vermindern, aber nicht verhindern kann. Eine Ursache dafür, dass eine Anschlussdegeneration durch diese junge Operationstechnik nicht gänzlich verhindert werden kann, liegt auch im physiologischen Alterungsprozess der Wirbelsegmente, der auch ohne operative Intervention voranschreiten würde.

Aus den Ergebnissen resultiert, dass es keine Unterschiede hinsichtlich der Anschlussdegenerationen in Abhängigkeit von der Genese der HWS-Erkrankung gibt. Die operative Intervention stellt hierbei den entscheidenden Faktor dar. Eine operative Versorgung mit einer zervikalen Bandscheibenprothese reduzierte im Vergleich zur ventralen Spondylodese vielfach signifikant radiologisch messbare Kriterien wie „Osteophytenwachstum“, „Höhenminderung der Zwischenwirbelräume“ und „Verkalkung des Lig. longitudinale ant.“. Auch die heterotope Ossifikation benachbarter Segmente als Zeichen der Anschlussdegeneration zeigte sich nur bei prothetisch versorgten Patienten stabil. Eine postoperative Reduktion der heterotopen Ossifikation der eingebrachten Prothese war über den Zeitraum der Nachuntersuchung nicht stabil, sodass hieraus Einbußen der physiologischen Bewegung resultieren können.

Die in dieser Studie evaluierten klinischen Ergebnisse, sind bis auf die Gruppe der Patienten mit bisegmentaler zervikaler Bandscheibenprothese vergleichbar mit denen einer ventralen Spondylodese. Patienten zeigten langfristig eine Reduktion von Schmerzen, Zervikobrachialgien und Sensibilitätsstörungen. Die Sonderstellung von Patienten mit bisegmentaler prothetischer Versorgung sollte anhand einer größeren Probandenanzahl überprüft werden um eindeutige Ergebnisse zu sichern.

Der derzeitig zunehmende Trend von der ventralen Spondylodese hin zur Bandscheibenprothese erzielt gute bis sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der Verringerung von Anschlussdegenerationen sowie der Verbesserung von Schmerzen und neurologischer Symptomatik über einen gesicherten Zeitraum von 5 Jahren. Während dieser Periode kommt es jedoch zunehmend zur heterotopen Ossifikation

des operativ versorgten Segments, deren Auswirkungen auf benachbarte Segmente noch unklar sind und in weiteren Langzeitstudien überprüft werden müssen. Die Erforschung geeigneter Gegenmaßnahmen sollte daher in den Vordergrund gestellt werden. Weiterhin bleibt jedoch auch die Platten-Schrauben-Spondylodese mit ihren guten klinischen Ergebnissen eine gute und bewährte Methode. Vor allem bei traumatisch bedingten Erkrankungen der HWS gilt sie weiterhin als unverzichtbar.

Als Fazit dieser Arbeit ergibt sich, dass die zervikale Bandscheibenprothese eine sinnvolle Intervention im Rahmen der operativen Therapie degenerativ bedingter zervikobrachialer und zervikomedullärer Symptomatik an der Halswirbelsäule darstellt.

8. Literatur- und Quellenverzeichnis

Adams MA, Roughley PJ. 2006.

What is intervertebral disc degeneration, and what causes it? Spine, 31(18):2151-2161.

Akhaddar A, Zalagh M. 2014.

Dysphagia secondary to anterior cervical spine osteophytes. The Pan African medical journal, 17:36.

Beck A, Salem K, Krischak G, Kinzl L, Bischoff M, Schmelz A. 2005.

Nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) in the perioperative phase in traumatology and orthopedics effects on bone healing. Operative Orthopädie und Traumatologie, 17(6):569-578.

Bertagnoli R, Yue J, Pfeiffer F, Fenk-Mayer A, Lawrence JP, Kershaw T, Nanieva R. 2005.

Early results after ProDisc-C cervical disc replacement. Journal of neurosurgery. Spine, 2(4):403-410.

Biggemann M, Frobin W, Brinckmann P. 1997.

Physiologisches Muster lumbaler Bandscheibenhöhen. RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin, 167(1):11-15.

Bühren V, Josten C, Hrsg. 2013.

Chirurgie der verletzten Wirbelsäule. 1. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 181-195.

Büttner-Janz K, Schellnack K, Zippel H. 1987.

Eine alternative Behandlungsstrategie beim lumbalen Bandscheibenschaden mit der Bandscheibenendoprothese Modulartyp SB Charité. Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete, 125(1):1-6.

Chang UK, Kim DH, Lee MC, Willenberg R, Kim S, Lim J. 2007.

Changes in adjacent-level disc pressure and facet joint force after cervical arthroplasty compared with cervical discectomy and fusion. Journal of neurosurgery. Spine, 7(1):33-39.

Chen J, Wang X, Bai W, Shen X, Yuan W. 2012.

Prevalence of heterotopic ossification after cervical total disc arthroplasty: a meta-analysis. European spine journal, 21(4):674-680.

Chien A, Lai DM, Wang SF, Hsu WL, Cheng CH, Wang JL. 2016.

Comparison of Cervical Kinematics, Pain and Functional Disability between Single-and two-level Anterior Cervical Discectomy and Fusion [Clinical Case Series: PDF Only]. Spine.

Chien A, Lai DM, Wang SF, Cheng CH, Hsu WL, Wang JL. 2015.

Differential segmental motion contribution of single- and two-level anterior cervical discectomy and fusion. European spine journal, 24(12):2857-2865.

Cloward RB. 1958.

The anterior approach for removal of ruptured cervical disks. Journal of neurosurgery, 15(6):602-617.

Cunningham BW, Gordon JD, Dmitriev AE, Hu N, McAfee PC. 2003.

Biomechanical evaluation of total disc replacement arthroplasty: an in vitro human cadaveric model. Spine, 28(20):110-117.

David T. 2007.

Long-term results of one-level lumbar arthroplasty: minimum 10-year follow-up of the CHARITE artificial disc in 106 patients. Spine, 32(6):661-666.

Delamarter RB, Murrey D, Janssen ME, Goldstein JA, Zigler J, Tay BKB, Darden B. 2010.

Results at 24 months from the prospective, randomized, multicenter Investigational Device Exemption trial of ProDisc-C versus anterior cervical discectomy and fusion with 4-year follow-up and continued access patients. SAS journal, 4(4):122-128.

Denis F. 1983.

The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. Spine, 8(8):817-831.

DePuy Synthes Spine. 2013.

ProDisc® C Total disc replacement. Patient guide, 1-5. Online verfügbar unter <http://www.synthes.com/MediaBin/US%20DATA/Product%20Support%20Materials/Patient%20Guides/SPPGProDisc-CJ7722E.pdf>, zuletzt geprüft am 11.05.2016.

Durbhakula MM, Ghiselli G. 2005.

Cervical total disc replacement, part I: rationale, biomechanics, and implant types. The Orthopedic clinics of North America 36(3):349-354.

Edwards CC, Riew KD, Anderson PA, Hilibrand AS, Vaccaro AF. 2003.

Cervical myelopathy. current diagnostic and treatment strategies. The spine journal, 3(1):68-81.

Fernström U. 1966.

Arthroplasty with intercorporeal endoprosthesis in herniated disc and in painful disc. Acta chirurgica Scandinavica. Supplementum, 357:154-159.

Frykholm R. 1947.

Deformities of dural pouches and strictures of dural sheaths in the cervical region producing nerve-root compression; a contribution to the etiology and operative treatment of brachial neuralgia. Journal of neurosurgery, 4(5):403-413.

Goffin J, Geusens E, Vantomme N, Quintens E, Waerzeggers Y, Depreitere B, et al. 2004.

Long-term follow-up after interbody fusion of the cervical spine. Journal of spinal disorders & techniques, 17(2):79-85.

Goffin J, van Loon J, van Calenbergh F, Lipscomb B. 2010.

A clinical analysis of 4- and 6-year follow-up results after cervical disc replacement surgery using the Bryan Cervical Disc Prosthesis. Journal of neurosurgery. Spine, 12(3):261-269.

Goffin J, Casey A, Kehr P, Liebig K, Lind B, Logroscino C, et al. 2002.

Preliminary clinical experience with the Bryan Cervical Disc Prosthesis. Neurosurgery, 51(3):840-847.

Grifka J, Krämer J. 2013.

Wirbelsäule. In: Grifka J, Krämer J, Hrsg. Orthopädie Unfallchirurgie. 9. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 155-211.

Grote W, Röttgen P. 1967.

Die ventrale Fusion bei der zervikalen Osteochondrose und ihre Behandlungsergebnisse. Acta neurochirurgica, 16(3):218-240.

Hauerberg J, Kosteljanetz M, Boge-Rasmussen T, Dons K, Gideon P, Springborg JB, Wagner A. 2008.

Anterior cervical discectomy with or without fusion with ray titanium cage: a prospective randomized clinical study. Spine, 33(5):458-464.

Hayes MHS, Patterson DG. 1921.

Experimental development of the graphic rating method. Psychological Bulletin, 18: 98-99.

Huppert J, Beaurain J, Steib JP, Bernard P, Dufour T, Hovorka I, et al. 2011.

Comparison between single- and multi-level patients: clinical and radiological outcomes 2 years after cervical disc replacement. *European spine journal*, 20(9):1417-1426.

Hussain M, Nassr A, Natarajan RN, An HS, Andersson GBJ. 2013.

Biomechanics of adjacent segments after a multilevel cervical corpectomy using anterior, posterior, and combined anterior-posterior instrumentation techniques: a finite element model study. *The spine journal*, 13(6): 689-696.

Islam MA, Habib MA, Sakeb N. 2012.

Anterior cervical discectomy, fusion and stabilization by plate and screw--early experience. *Bangladesh Medical Research Council bulletin*, 38(2):62-66.

Kepler CK, Brodt ED, Dettori JR, Albert TJ. 2012.

Cervical artificial disc replacement versus fusion in the cervical spine: a systematic review comparing multilevel versus single-level surgery. *Evidence-based spine-care journal*, 3(S1):19-30.

Kepler CK, Hilibrand AS. 2012.

Management of adjacent segment disease after cervical spinal fusion. *The Orthopedic clinics of North America*, 43(1):53-62.

König SA, Spetzger U, Hrsg. 2014.

Degenerative Erkrankungen der Halswirbelsäule. Therapeutisches Management im subaxialen Abschnitt. 1. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2-111.

Kosuri KC, Venumadhav N, Ks S. 2014.

Ossified ligamentum longitudinale anterius in adult human dry vertebrae. *Journal of clinical and diagnostic research*, 8(8):AC04-6.

Krämer R, Hrsg. 2014.

Bandscheibenbedingte Erkrankungen. Ursachen, Diagnose, Behandlung, Vorbeugung, Begutachtung. 6., überarb. und aktualisierte Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 108-154.

Kruskal WH, Wallis WA. 1952.

Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260):583.

Lee JH, Kim JS, Lee JH, Chung ER, Shim CS, Lee SH. 2014.

Comparison of cervical kinematics between patients with cervical artificial disc replacement and anterior cervical discectomy and fusion for cervical disc herniation. *The spine journal*, 14(7):1199-1204.

Lemaire JP, Carrier H, Soriali E, Skalli W, Lavaste F. 2005.

Clinical and radiological outcomes with the Charité artificial disc: a 10-year minimum follow-up. *Journal of spinal disorders & techniques*, 18(4):353-359.

Levin DA, Hale JJ, Bendo JA. 2007.

Adjacent segment degeneration following spinal fusion for degenerative disc disease. *Bulletin of the NYU hospital for joint diseases*, 65(1):29-36.

Lopez-Espina CG, Amirouche F, Havalad V. 2006.

Multilevel cervical fusion and its effect on disc degeneration and osteophyte formation. *Spine*, 31(9):972-978.

Loumeau TP, Darden BV, Kesman TJ, Odum SM, van Doren BA, Laxer EB, Murrey DB. 2016.

A RCT comparing 7-year clinical outcomes of one level symptomatic cervical disc disease (SCDD) following ProDisc-C total disc arthroplasty (TDA) versus anterior cervical discectomy and fusion (ACDF). *European spine journal*, 1:1-8.

Luo J, Gong M, Huang S, Yu T, Zou X. 2015.

Incidence of adjacent segment degeneration in cervical disc arthroplasty versus anterior cervical decompression and fusion meta-analysis of prospective studies. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 135(2):155-160.

Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. 1994.

A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *European spine journal*, 3(4):184-201.

McAfee PC. 2004.

The indications for lumbar and cervical disc replacement. *The spine journal*, 4(6 Suppl):177-181.

McAfee PC, Cunningham BW, Devine J, Williams E, Yu-Yahiro J. 2003.

Classification of heterotopic ossification (HO) in artificial disk replacement. *Journal of spinal disorders & techniques*, 16(4):384-389.

- Mehren C, Suchomel P, Grochulla F, Barsa P, Sourkova P, Hradil J, et al. 2006.**
Heterotopic ossification in total cervical artificial disc replacement. *Spine*, 31(24):2802-2806.
- Mizuno J, Nakagawa H, Song J, 2005.**
Symptomatic ossification of the anterior longitudinal ligament with stenosis of the cervical spine: a report of seven cases. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 87(10):1375-1379.
- Moatz B, Tortolani PJ. 2012.**
Cervical disc arthroplasty: Pros and cons. *Surgical neurology international*, 3(Suppl 3):216-24.
- Nabhan A, Steudel WI, Pape D, Ishak B. 2007(a).**
Segmental kinematics and adjacent level degeneration following disc replacement versus fusion: RCT with three years of follow-up. *Journal of long-term effects of medical implants*, 17(3):229-236.
- Nabhan A, Ahlhelm F, Pitzen T, Steudel WI, Jung J, Shariat K, et al. 2007(b).**
Disc replacement using Pro-Disc C versus fusion: a prospective randomised and controlled radiographic and clinical study. *European spine journal*, 16(3):423-430.
- Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P, Hrsg. 2009.**
Orthopädie und Unfallchirurgie. 6. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag (Duale Reihe), 373-428.
- Obernauer J, Landscheidt J, Hartmann S, Schubert GA, Thomé C, Lumenta C. 2016.**
Cervical arthroplasty with ROTAIO® cervical disc prosthesis: first clinical and radiographic outcome analysis in a multicenter prospective trial. *BMC musculoskeletal disorders*, 17(1):11.
- Oktenoglu T, Cosar M, Ozer AF, Iplikcioglu C, Sasani M, Canbulat N, et al. 2007.**
Anterior cervical microdiscectomy with or without fusion. *Journal of spinal disorders & techniques*, 20(5):361-368.
- Palepu V, Kodigudla M, Goel VK. 2012.**
Biomechanics of Disc Degeneration. *Advances in Orthopedics*, (4):1-17.

Park Y, Maeda T, Cho W, Riew KD. 2010.

Comparison of anterior cervical fusion after two-level discectomy or single-level corpectomy: sagittal alignment, cervical lordosis, graft collapse, and adjacent-level ossification. *The spine journal*, 10(3):193-199.

Parker SL, Godil SS, Shau DN, Mendenhall SK, McGirt MJ. 2013.

Assessment of the minimum clinically important difference in pain, disability, and quality of life after anterior cervical discectomy and fusion. *Journal of Neurosurgery. Spine*, 18(2):154-160.

Pimenta L, McAfee PC, Cappuccino A, Cunningham BW, Diaz R, Coutinho E. 2007.

Superiority of multilevel cervical arthroplasty outcomes versus single-level outcomes: 229 consecutive PCM prostheses. *Spine*, 32(12):1337-1344.

Pimenta L, Scott-Young M, Cappuccino A, McAfee PC. 2006.

Comparison of single level versus multiple level cervical disc — 178 consecutive PCM prostheses. *Journal of Bone & Joint Surgery. British Volume*, 88(SUPP III):455-456.

Prasarn ML, Baria D, Milne E, Latta L, Sukovich W. 2012.

Adjacent-level biomechanics after single versus multilevel cervical spine fusion. *Journal of neurosurgery. Spine*, 16(2):172–177.

Puttlitz CM, Rousseau MA, Xu Z, Hu S, Tay BKB, Lotz JC. 2004.

Intervertebral disc replacement maintains cervical spine kinetics. *Spine*, 29(24):2809-2814.

Quinn JC, Kiely PD, Lebl DR, Hughes AP. 2015.

Anterior Surgical Treatment of Cervical Spondylotic Myelopathy. *HSS Journal*, 11(1):15-25.

Raj PP. 2008.

Intervertebral Disc. *Anatomy-Physiology-Pathophysiology-Treatment. Pain Practice*, 8(1):18-44.

Rao PJ, Pelletier MH, Walsh WR, Mobbs RJ. 2014.

Spine interbody implants: material selection and modification, functionalization and bioactivation of surfaces to improve osseointegration. *Orthopaedic surgery*, 6(2):81-89.

Rihn JA, Lawrence J, Gates C, Harris E, Hilibrand AS. 2009.

Adjacent segment disease after cervical spine fusion. *Instructional course lectures*, 58:747-756.

Rinne H. 2003.

Taschenbuch der Statistik. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Frankfurt am Main: Deutsch Verlag, 515-585.

Rosenthal P. 2013.

Cervical adjacent segment pathology following fusion. Is it due to fusion. WJO, 4(3):112.

Sangsari-Wahlster S. 2009.

Bildmorphologische Analyse einer Anschlussdegeneration beim zervikalen Bandscheibenersatz versus Fusion. Eine prospektive und kontrollierte 4 - Jahresstudie [Dissertation]. Saarland: Universität des Saarlandes.

Sasso RC, Smucker JD, Hacker RJ, Heller JG. 2007.

Artificial disc versus fusion: a prospective, randomized study with 2-year follow-up on 99 patients. Spine, 32(26):2933-2942.

Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Hrsg. 2005.

Prometheus. LernAtlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 2. Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 82-103, 124-125.

Scoville WB. 1946.

Contribution to discussion about ruptured cervical discs. Arch Neurol Psychiat, 56:722-723B.

Siegenthaler W, Amann-Vesti BR, Hrsg. 2006.

Klinische Pathophysiologie. 239 Tabellen. 9., völlig neu bearbeitete Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 991-992.

Signus Medizintechnik. 2015.

ROTAIO Zervikale Bandscheibenprothese. Implantiert wie ein Cage - Bewegt wie eine Bandscheibe, 1-2. Online verfügbar unter http://www.klinikprodukte.com/pdf/rotaio_datenblatt.pdf, zuletzt geprüft am 16.01.2016.

Smith GW, Robinson RA. 1958.

The treatment of certain cervical-spine disorders by anterior removal of the intervertebral disc and interbody fusion. The Journal of bone and joint surgery. American volume, 40-A(3):607-624.

Statistisches Bundesamt. 2006.

Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik) Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern - Ausführliche Darstellung - 2006. Online verfügbar unter <http://www.gbe-bund.de/pdf/5231401067014.pdf>, zuletzt geprüft am 09.02.2016.

Statistisches Bundesamt. 2014.

Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik) Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern - Ausführliche Darstellung - 2014. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Krankenhaeuser/OperationenProzeduren5231401147014?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 09.02.2016.

Steinhagen J, Habermann CR, Petersen JP, Kothe R, Rütger W. 2007.

Bildgebung bei degenerativen Erkrankungen der Wirbelsäule. In: Deutsche Gesellschaft für Radiologie, Hrsg. Bildgebende Verfahren in der Rheumatologie. 1. Auflage. Darmstadt: Steinkopff Verlag, 219-240.

Szpalski M, Gunzburg R, Mayer M. 2002.

Spine arthroplasty: a historical review. European spine journal, 11(Suppl 2):65-84.

Theodoridis T, Krämer J, Wiese M. 2006.

Bandscheibenbedingte Erkrankungen. Orthopädie und Unfallchirurgie. up2date1, 6(6):495-520.

Traynelis V, Treharne RW. 2007.

Use of Prestige LP Artificial Cervical Disc in the spine. Expert review of medical devices, 4(4):437-440.

Varsak YK, Eryilmaz MA, Arbağ H. 2014.

Dysphagia and airway obstruction due to large cervical osteophyte in a patient with ankylosing spondylitis. The Journal of craniofacial surgery, 25(4):1402- 1403.

White AA, Panjabi MM, Hrsg. 1990.

Clinical biomechanics of the spine. 2nd edition. Philadelphia: J.B. Lippincott Company, 23-45.

Xie JC, Hurlbert RJ. 2007.

Discectomy versus discectomy with fusion versus discectomy with fusion and instrumentation: a prospective randomized study. *Neurosurgery*, 61(1):107-116.

Yu S, Li F, Yan N, Yuan C, He S, Hou T. 2014.

Anterior fusion technique for multilevel cervical spondylotic myelopathy: a retrospective analysis of surgical outcome of patients with different number of levels fused. *PloS one*, 9(3):e91329.

Zeegers WS, Bohnen LM, Laaper M, Verhaegen MJ. 1999.

Artificial disc replacement with the modular type SB Charité III: 2-year results in 50 prospectively studied patients. *European spine journal*, 8(3):210-217.

Zhong ZM, Zhu SY, Zhuang JS, Wu Q, Chen JT. 2016.

Reoperation After Cervical Disc Arthroplasty Versus Anterior Cervical Discectomy and Fusion: A Meta-analysis. *Clinical orthopaedics and related research*, 1:1-10.

Anhang

I. Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1 – Anatomie der Halswirbelsäule in ventraler Ansicht, Ausschnitt: 4. Halswirbel, modifiziert nach Schünke et al. (2005), S. 85, 102..... | 3 |
| Abbildung 2 – Bewegungssegment nach Junghans, modifiziert nach Niethard et al. (2009), S. 393, Ausschnitt: Aufbau einer Bandscheibe, modifiziert nach Schünke et al. (2005), S. 92..... | 4 |
| Abbildung 3 – Gesamtbeweglichkeit der HWS; a) Lateralflexion jeweils 35°, b) Ventralexion 65°, Dorsalextension 40°, c) Rotation jeweils 50°, modifiziert nach Schünke et al. (2005), S. 101 | 5 |
| Abbildung 4 – Gliederung eines Spinalnervens, R. dorsalis und R. meningeus, modifiziert nach Schünke et al. (2005), S. 63 | 7 |
| Abbildung 5 – Stadien der Degeneration einer Bandscheibe, modifiziert nach Grifka und Krämer (2013), S. 498 | 8 |
| Abbildung 6 – Dermatome obere Extremität, modifiziert nach Schünke et al. (2005), S. 65 | 9 |
| Abbildung 7 – Wachstum des Osteophyten an der anterioren Wirbelkante im kranialen Anschlusssegment C3/4 nach ventraler Spondylodese C4-6, P. L., 28-jähriger Patient, laterales Röntgenbild, a) direkt postoperativ, b) 3 Jahre postoperativ | 11 |
| Abbildung 8 – Verkalkung des Lig. longitudinale anterius C3/4, H.-P. F., 54-jähriger Patient, laterales Röntgenbild, 1 Jahr nach ventraler Spondylodese C4/5 | 12 |
| Abbildung 9 – McAfee Score Wert 4 einer heterotopen Ossifikation des mit Bandscheibenprothese versorgten Segments C6/7, 1 Jahr postoperativ, U. R., 46-jähriger Patient, laterales Seitenbild | 12 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 10 – numerische Rating-Skala (NRS) zur Erfassung des subjektiven Schmerzempfindens | 14 |
| Abbildung 11 – SB Charité III Bandscheibenprothese L4/L5, a) a.p. Röntgenbild b) laterales Röntgenbild (Zeegers et al. 1999, S. 211) | 17 |
| Abbildung 12 – ventrale Platten-Schrauben-Spondylodese C4-6, 3 Jahre post-operativ, P. L., 28-jähriger Patient, laterales Röntgenbild..... | 21 |
| Abbildung 13 – ROTAIO® Bandscheibenprothese (Signus Medizintechnik (2015)) | 22 |
| Abbildung 14 – bissegmentale Implantation von ROTAIO® Bandscheibenprothesen C5/6, C6/7, B.F., 46-jährige Patientin, laterale Röntgenbilder, a) ROM bei Inklinat b) ROM bei Reklination | 22 |
| Abbildung 15 – ProDisc® C Bandscheibenprothese (DePuy Synthes Spine (2013)) | 23 |
| Abbildung 16 – monosegmentale Implantation der ProDisc® C Bandscheibenprothese C5/6, E. K., 39-jährige Patientin, laterale Röntgenbilder, a) Inklinat b) Reklination | 23 |
| Abbildung 17 – Messpunkte der Osteophyten | 29 |
| Abbildung 18 – schematische Darstellung der Messung eines Osteophyten | 29 |
| Abbildung 19 – schematische Darstellung der Messung der Höhe der Zwischenwirbelräume in mm | 30 |
| Abbildung 20 – Anzahl der Patienten getrennt nach der Methode der operativen Versorgung, Gesamtanzahl 63 Patienten | 34 |
| Abbildung 21 – Anzahl weiblicher (heller Balkenanteil) und männlicher (dunkler Balkenanteil) Patienten getrennt nach der Methode der operativen Versorgung, Gesamtanzahl: 23 weibliche Patienten, 40 männliche Patienten | 35 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 22 – Durchschnittsalter der Patienten zum Operationszeitpunkt getrennt nach der Methode der operativen Versorgung, Gesamtdurchschnittsalter 47 Jahre | 36 |
| Abbildung 23 – Übersicht über die Anzahl der jeweiligen operativen Intervention getrennt nach HWS-Segment, häufigste Versorgung: C5/6 | 36 |
| Abbildung 24 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kranialen Anschlusssegment an der anterioren Wirbelkante und proximal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm | 37 |
| Abbildung 25 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kranialen Anschlusssegment an der anterioren Wirbelkante und distal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm | 38 |
| Abbildung 26 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kranialen Anschlusssegment an der posterioren Wirbelkante und proximal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm | 39 |
| Abbildung 27 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kranialen Anschlusssegment an der posterioren Wirbelkante und distal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm | 40 |
| Abbildung 28 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kaudalen Anschlusssegment an der anterioren Wirbelkante und proximal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm | 40 |

Abbildung 29 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kaudalen Anschlusssegment an der anterioren Wirbelkante und distal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm 41

Abbildung 30 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kaudalen Anschlusssegment an der posterioren Wirbelkante und proximal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm 42

Abbildung 31 – zeitlicher Verlauf der mittleren Zunahme der Größe der Osteophyten im Vergleich zum postoperativen Ausgangswert, die sich im kaudalen Anschlusssegment an der posterioren Wirbelkante und distal zum versorgten Segment befinden getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm 43

Abbildung 32 – Vergleich der Zwischenwirbelraumhöhe im kranialen Anschlusssegment getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – präoperativ, direkt postoperativ, 5 Jahre postoperativ – absolute Werte in mm 44

Abbildung 33 – Vergleich der Zwischenwirbelraumhöhe im kaudalen Anschlusssegment getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – präoperativ, direkt postoperativ, 5 Jahre postoperativ – absolute Werte in mm 44

Abbildung 34 – zeitlicher Verlauf der Höhenminderung des Zwischenwirbelraums im kranialen Anschlusssegment getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm..... 45

Abbildung 35 – zeitlicher Verlauf der Höhenminderung des Zwischenwirbelraums im kaudalen Anschlusssegment getrennt nach der Methode der operativen Versorgung – in mm..... 46

| | |
|---|----|
| Abbildung 36 – Darstellung des Anteils neuer Verkalkungen des Lig. longitudinale anterius nach postoperativ blandem oder saniertem Längsband, 5 Jahre postoperativ, kraniales Anschlusssegment - getrennt nach der Methode der operativen Versorgung | 47 |
| Abbildung 37 – Darstellung des Anteils neuer Verkalkungen des Lig. longitudinale anterius nach postoperativ blandem oder saniertem Längsband, 5 Jahre postoperativ, kaudales Anschlusssegment - getrennt nach der Methode der operativen Versorgung | 47 |
| Abbildung 38 – Änderung des McAfee Scores im operierten Segment über den Nachuntersuchungszeitraum von 5 Jahren für die Patienten mit zervikaler Bandscheibenprothese | 49 |
| Abbildung 39 – zeitlicher Verlauf des mittleren McAfee Scores im kranialen Anschlusssegment getrennt nach der Methode der operativen Versorgung | 50 |
| Abbildung 40 – zeitlicher Verlauf des mittleren McAfee Scores im kaudalen Anschlusssegment getrennt nach der Methode der operativen Versorgung | 51 |
| Abbildung 41 – zeitlicher Verlauf des subjektiven Schmerzempfindens anhand der NRS, getrennt nach der Methode der operativen Versorgung | 52 |
| Abbildung 42 – prozentualer Anteil von Zervikobrachialgien getrennt nach der Methode der operativen Versorgung, präoperativ, postoperativ sowie nach einem Zeitraum von 3 – 5 Jahren postoperativ | 53 |
| Abbildung 43 – Anteil von Sensibilitätsstörungen getrennt nach Methode der operativen Versorgung, prä- und postoperativ sowie 3 – 5 Jahre postoperativ | 54 |

II. Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1 – Segmentale Beweglichkeit der HWS mit Mittelwerten und Grenzwerten in Winkelgraden nach White und Panjabi (1990)..... | 5 |
| Tabelle 2 – Übersicht über den originalen und für diese Studie modifizierten McAfee Score Werte in den Anschlusssegmenten..... | 13 |
| Tabelle 3 – Übersicht der Anzahl der Patienten in den jeweiligen Studiengruppen | 26 |
| Tabelle 4 – Ein- und Ausschlusskriterien für die Studie | 27 |

III. Anschreiben an die Patienten



Berufsgenossenschaftliche Kliniken
Akademisches Lehrkrankenhaus

Bergmannstrost

Berufsgenossenschaftliche Kliniken Bergmannstrost

Postfach 20 01 53 ♦ 06002 Halle/Saale

Frau/Herr

Zentrum für Rückenmarkverletzte

und Klinik für Orthopädie

Direktor: Dr. med. K. Röhl

Arzt für Orthopädie, Chirotherapie
und Rehabilitationswesen

e-mail: Klaus.Roehl@Bergmannstrost.com

Sekretariat des Direktors: Tel.: 0345/132-6311

V. Kalbitz Fax: 0345/132-6313

e-mail: Viola.Kalbitz@Bergmannstrost.com

Kliniksekretariat: Tel.: 0345/132-6308

Orthopädische Ambulanz: Tel.: 0345/132-6311

Knie-, Hüft, Endoprothesen Tel.: 0345/132-6518

Wirbelsäulenambulanz: Fax.: 0345/132-6313

Sehr geehrte/r Herr/Frau,

Sie befanden sich vor einiger Zeit zur Implantation einer Bandscheibenprothese in unserer Behandlung.

Hiermit möchten wir Sie zur Nachsorgeuntersuchung in unsere Sprechstunde einladen. Diese Untersuchung wird regelmäßig nach 6, 12, 24, 36 – 48 und 60 Monaten durchgeführt. Sie dient der Sicherung und Überprüfung des Operationsergebnisses. Bitte vereinbaren Sie mit uns telefonisch unter **0345-132 6518** einen **Nachuntersuchungstermin**.

Bringen Sie bitte hierzu die ausgefüllten Fragebögen, einen Überweisungsträger sowie, falls vorhanden, Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule in 2 Ebenen und Funktionsaufnahmen mit. Die Untersuchung erfolgt im Rahmen der regulären Nachsorge. Eine gesonderte Wegeversicherung besteht nicht. Auch erfolgt durch uns keine Übernahme Ihnen eventuell entstehender Kosten, wie z.B. Fahrtkosten.

Um eine optimale Beweglichkeit der Halswirbelsäule zu gewährleisten wurde bei Ihnen eine ROTAIO® Bandscheibenprothese implantiert. Dieses System wird seit 2010 angewandt. Durch ein variables Rotationszentrum wird die



physiologische Bewegung einer gesunden Bandscheibe nachempfunden. Ziel dieses neuen Systems sind es Ihnen eine bessere Beweglichkeit Ihrer Halswirbelsäule zu ermöglichen. Gegenüber anderen Bandscheibenprothesen soll es seltener zu

Quelle: Signus Medizintechnik (2015)

Versteifungen des operierten Segmentes durch Ausbildung einer knöchernen Brücke kommen. Zum anderen sollen Verschleißerscheinungen, insbesondere in den angrenzenden Wirbelsäulensegmenten, vermindert werden. Zum aktuellen Zeitpunkt führen wir in unserer Klinik eine Studie durch, die sich mit den Vorteilen der ROTAIO® Bandscheibenprothese gegenüber älteren Systemen beschäftigt. Die im Rahmen der Studie ermittelten Ergebnisse werden mit den Ergebnissen von Studien über ältere Systeme verglichen. Ziel ist es herauszufinden, inwiefern Verknöcherungen und Verschleißerscheinungen durch das ROTAIO® System reduziert werden können und wie sich diese Operation auf die Beweglichkeit der Halswirbelsäule und somit Ihr Wohlbefinden insgesamt auswirkt.

Zu diesem Zweck erfolgt die Auswertung bestimmter Parameter anhand von Röntgenbildern der Halswirbelsäule. Zusätzlich wird eine klinische Untersuchung der Beweglichkeit der Halswirbelsäule durchgeführt und Fragen zum Allgemeinbefinden sowie zu eventuellen Schmerzen und Medikation gestellt. Um unsere Arbeit weiterhin auf höchstem Niveau durchführen zu können und auch zukünftigen Patienten die beste Therapie zu ermöglichen bitten wir Sie uns die Erlaubnis zu erteilen, die bei Ihnen erhobenen Befunde im Rahmen wissenschaftlicher Studien und Publikationen nutzen zu dürfen. Ihre Daten werden selbstverständlich streng vertraulich behandelt und anonymisiert. In Veröffentlichungen ist kein Rückschluss auf Ihre Person mehr möglich. Sollten Sie nicht mit der Nutzung Ihrer Daten einverstanden sein, entstehen Ihnen hieraus keine Nachteile. Die reguläre Nachsorgeuntersuchung ist hiervon unabhängig und dient der Kontrolle Ihrer Gesundheit. Sollten Sie sich zu einem späteren Zeitpunkt gegen eine Studienteilnahme entscheiden, können Sie uns dies mitteilen. Ihre Daten werden dann auf ihren ausdrücklichen Wunsch hin aus den erhobenen Studiendaten entfernt. Sollte es bereits zu wissenschaftlichen Veröffentlichungen gekommen sein in welchen Ihre Daten eingeflossen sind, ist dies leider nicht mehr möglich.

Sollte es Ihnen nicht möglich sein an der Nachsorgeuntersuchung teilzunehmen, möchten wir Sie im Rahmen der o.g. Studie bitten, uns alle vorhandenen Röntgenaufnahmen sowie CT-Untersuchungen der Halswirbelsäule seit dem Operationsdatum zukommen zu lassen. Bildmaterial und CD's werden nach Durchsicht an Sie zurückgesandt. Weiterhin möchten wir Sie bitten, den beiliegenden Fragebogen auszufüllen. Ein adressierter und frankierter Rücksendeumschlag für die beiliegenden Fragebögen/vorhandenes Bildmaterial wurde diesem Schreiben beigelegt. Es entstehen Ihnen hierfür keine zusätzlichen Kosten.

Für Rückfragen stehen wir Ihnen gern unter 0345/132 - 6311 zur Verfügung. Wir danken im Voraus für Ihre Hilfe und verbleiben mit freundlichen Grüßen

J. Nitschke

T. Jarmuzek

IV. Einwilligungserklärung

EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG ZUR STUDIENTEILNAHME:

Name der Studie: Klinische Studie zur Evaluation der Anschlussdegenerationen bei zervikalen Bandscheibenprothesen. Vergleich der Häufigkeit und des Schweregrades von Anschlusssegmentdegenerationen nach Implantation zervikaler ROTAIO® und ProDisc® C Bandscheibenprothesen im Vergleich zur ventralen Platten-Schrauben-Spondylodese.

Ich (Name, Vorname) _____

geboren am _____

wohnhaft in _____

bin mit der Erhebung, Speicherung und Auswertung meiner Daten in Bezug auf o.g. Studie zum Zwecke wissenschaftlicher Arbeiten und Publikationen einverstanden.

Mein Einverständnis setzt die Anonymisierung meiner Daten voraus.

Ich bin mir bewusst, dass die Studienteilnahme freiwillig ist und ich jederzeit ohne Angabe von Gründen von dieser Teilnahme zurücktreten kann.

Die Patienteninformation habe ich gelesen, meine Fragen wurden mir verständlich beantwortet.

Ort, Datum _____

Unterschrift: _____

V. Kreuzanalyse der Gruppenkombinationen für den Ergebnisteil

| Tab. 1 Berechnete Signifikanzwerte 1 Jahr postoperativ kraniales Anschlusssegment, anterior/proximaler Osteophyt | | | |
|---|-------|-------|-------|
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,564 | 0,025 | 0,109 |
| 2 | | 0,105 | 0,197 |
| 3 | | | 0,291 |
| Tab. 2 Berechnete Signifikanzwerte 1/2 Jahr postoperativ kraniales Anschlusssegment, anterior/distaler Osteophyt | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,300 | 0,005 | 0,125 |
| 2 | | 0,010 | 0,070 |
| 3 | | | 0,187 |
| Tab. 3 Berechnete Signifikanzwerte 1 Jahr postoperativ kraniales Anschlusssegment, anterior/distaler Osteophyt | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,684 | 0,004 | 0,005 |
| 2 | | 0,028 | 0,044 |
| 3 | | | 0,906 |
| Tab. 4 Berechnete Signifikanzwerte 2 Jahre postoperativ kraniales Anschlusssegment, anterior/distaler Osteophyt | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,322 | 0,010 | 0,018 |
| 2 | | 0,290 | 0,329 |
| 3 | | | 0,814 |
| Tab. 5 Berechnete Signifikanzwerte 3 - 4 Jahre postoperativ kraniales Anschlusssegment, anterior/distaler Osteophyt | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,702 | 0,008 | 0,004 |
| 2 | | 0,078 | 0,023 |
| 3 | | | 1 |
| Tab. 6 Berechnete Signifikanzwerte 5 Jahre postoperativ kraniales Anschlusssegment, anterior/distaler Osteophyt | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,747 | 0,003 | 0,012 |
| 2 | | 0,027 | 0,019 |
| 3 | | | 0,643 |

| Tab. 7 Berechnete Signifikanzwerte 5 Jahre postoperativ kaudales Anschlusssegment, posterior/proximal Osteophyt | | | |
|---|-------|-------|-------|
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,012 | 0,166 | 0,090 |
| 2 | | 0,095 | 0,099 |
| 3 | | | 0,825 |
| Tab. 8 Berechnete Signifikanzwerte 1/2 Jahr postoperativ kaudales Anschlusssegment, posterior/distal Osteophyt | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,406 | 0,865 | 0,017 |
| 2 | | 0,338 | 0,048 |
| 3 | | | 0,031 |
| Tab. 9 Berechnete Signifikanzwerte 1 Jahr postoperativ kaudales Anschlusssegment, posterior/distal Osteophyt | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,164 | 0,919 | 0,050 |
| 2 | | 0,157 | 0,021 |
| 3 | | | 0,047 |
| Tab. 10 Berechnete Signifikanzwerte 2 Jahr postoperativ kaudales Anschlusssegment, posterior/distal Osteophyt | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,485 | 0,624 | 0,038 |
| 2 | | 0,677 | 0,059 |
| 3 | | | 0,021 |
| Tab. 11 Berechnete Signifikanzwerte ½ Jahr postoperativ kranialer Zwischenwirbelraum | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,739 | 0,008 | 0,838 |
| 2 | | 0,040 | 0,834 |
| 3 | | | 0,005 |
| Tab. 12 Berechnete Signifikanzwerte 1 Jahr postoperativ kranialer Zwischenwirbelraum | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,930 | 0,019 | 0,806 |
| 2 | | 0,069 | 0,869 |
| 3 | | | 0,014 |

| Tab. 13 Berechnete Signifikanzwerte 1/2 Jahr postoperativ kaudaler | | | |
|--|-------|-------|-------|
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,900 | 0,010 | 0,081 |
| 2 | | 0,044 | 0,188 |
| 3 | | | 0,756 |
| Tab.14 Berechnete Signifikanzwerte der Neukalzifizierung kranial | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,055 | 0,098 | 0,256 |
| 2 | | 0,003 | 0,008 |
| 3 | | | 0,555 |
| Tab.15 Berechnete Signifikanzwerte der Neukalzifizierung | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,694 | 0,002 | 0,138 |
| 2 | | 0,003 | 0,132 |
| 3 | | | 0,047 |
| Tab. 16 Berechnete Signifikanzwerte 5 Jahre postoperativ, McAfee kranial | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,392 | 0,030 | 0,050 |
| 2 | | 0,047 | 0,056 |
| 3 | | | 0,786 |
| Tab. 17 Berechnete Signifikanzwerte 1/2 Jahr postoperativ, NRS | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,185 | 0,010 | 0,034 |
| 2 | | 0,509 | 0,469 |
| 3 | | | 0,667 |
| Tab. 18 Berechnete Signifikanzwerte präoperativ, Zervikobrachialgie | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,154 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | | 0,000 | 0,000 |
| 3 | | | 0,855 |
| Tab. 19 Berechnete Signifikanzwerte postoperativ, Zervikobrachialgie | | | |
| Gruppe | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,815 | 0,047 | 0,006 |
| | | 0,144 | 0,015 |
| 3 | | | 0,269 |

VII. Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass

mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Prof. Dr. Dr. G. O. Hofmann, Dr. Lars Homagk, Jane Nitschke, Dr. Thomas Lehmann
(Institut für Medizinische Statistik, Informatik und Dokumentation des
Universitätsklinikum Jena),

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Ort, Datum

Unterschrift des Verfassers

VIII. Danksagung

Herrn Prof. Dr. Dr. Hofmann und Herrn Dr. Homagk möchte ich für die freundliche Überlassung des hochinteressanten Themas herzlich danken. Ich bedanke mich für die intensive und professionelle Beratung und Unterstützung sowie der Hilfestellung bei Fragen und Problemen zu jeder Zeit.

Mein Dank gilt auch Jane Nitschke, die mir bei der Planung, Durchführung und Auswertung der vorliegenden Arbeit mit kompetentem Rat und ihrer Hilfe in zahlreichen Angelegenheiten zur Seite stand.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern Regina und Michael Jarmuzek, die mir mein Studium der Humanmedizin ermöglicht haben und jederzeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Meiner Schwester Dr. med. dent. Jana Konrad und ihrer Familie gebührt ebenfalls mein ganzer Dank. Ich bedanke mich für die viele Unterstützung, die spannenden Diskussionen und Hilfestellung bei allen meinen Fragen und Problemen.

Herzlich möchte ich mich auch bei meinen Großeltern bedanken, die mein Leben geprägt und mich auf den richtigen Weg geführt haben.

Meinem Partner Jens Kleebusch und allen meinen lieben Freunden danke ich für die Ausdauer, Ruhe und Geduld, womit sie mir stets zur Seite standen und mich immer wieder aufgemuntert haben.